



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**Desarrollo y análisis fisicoquímico de tres productos elaborados a base de garbanzo (*Cicer arietinum L.*).**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

**PRESENTA  
JUAN PABLO SALINA GARCÍA**

Ciudad Universitaria, CD. MX. 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.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Q. F. B. Bertha Julieta Sandoval Guillén

**VOCAL:** M. en C. Armando Conca Torres

**SECRETARIO:** M. en C. Juan Carlos Ramírez Orejel

**1er. SUPLENTE:** Q. F. B. Rodolfo Fonseca Larios

**2° SUPLENTE:** I. A. José Luis Godínez Rodríguez

## **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**Laboratorio de Bromatología II, Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM.**

**Con dirección en Circuito exterior S/N, Coyoacán, CD. Universitaria, CDMX**

## **ASESOR DEL TEMA:**

---

M. en C. Juan Carlos Ramírez Orejel

## **SUSTENTANTE:**

---

Juan Pablo Salina García

# ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos particulares .....	4
HIPÓTESIS .....	5
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES .....	6
1.1 Leguminosas.....	6
1.1.2 Composición nutrimental.....	7
1.1.2.1 Proteínas .....	8
1. 1. 3. Consumo y producción a nivel nacional.....	11
1. 2. Garbanzo .....	13
1. 2. 1. Contenido de proteínas y aminoácidos.....	14
1. 2. 2. Contenido de lípidos .....	15
1. 2. 3. Contenido de carbohidratos.....	16
1. 3. Bebidas vegetales .....	18
1. 3. 1. Procesamiento.....	20
1.4 Bebidas fermentadas.....	26
1.4.1 Definición.....	26
1.4.2 Procesamiento.....	29
1.5 Análogos de queso.....	32
1.5.1 Definición .....	33
1.5.2 Procesamiento .....	34
1.5.3. Formulación.....	36
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	38
2.2 Obtención y análisis fisicoquímico del garbanzo .....	38
2.3 Pruebas de calidad.....	39
2.4 Análisis fisicoquímico del garbanzo.....	39
2.5 Procesamiento de garbanzo para obtención de la bebida.....	40
2.5.1 Tratamiento 1 .....	40
2.5.2 Tratamiento 2 .....	41
2.5.3 Tratamiento 3 .....	42

2.5.4 Tratamiento 4 .....	43
2.5.5 Tratamiento 5 .....	44
2.8 Balance de materia para proteínas y sólidos no proteínicos .....	45
2.9 Análisis fisicoquímico de las bebidas vegetales. ....	46
2.10 Evaluación sensorial. Pruebas de nivel de agrado y preferencia. ....	46
2.11 Elaboración de la bebida vegetal para fermentación y elaboración de análogo de queso. ....	48
2.12 Fermentación de la bebida.....	48
2.12.1 Elaboración de bebida para fermentación.....	48
2.12.2 Fermentación .....	48
2.13 Formulación de un análogo de queso .....	50
2.14 Análisis fisicoquímico. ....	52
2.15 Poder antioxidante. ....	52
2.15.1 Método de Folin-Ciocalteu. ....	52
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	54
3.1 Garbanzo.....	54
3.1.1 Pruebas de calidad.....	54
3.1.2 Análisis fisicoquímico del garbanzo.....	55
3.3 Bebida vegetal.....	56
3.3.1 Balances de materia. ....	56
3.3.2. Análisis Químico Proximal .....	58
3.3.3 Análisis sensorial con estudiantes de la Facultad de Química. ....	60
3.4 Fermentación de la bebida vegetal.....	63
3.5 Formulación de un análogo de queso. ....	67
3.5.1 Etiquetado nutrimental.....	68
3.6 Poder antioxidante.....	69
3.7 Evaluación de costos. ....	70
CONCLUSIONES.....	74
BIBLIOGRAFÍA .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de agua para producir legumbres en comparación con otras fuentes de proteínas (FAO, 2016). .....	12
Figura 2. Proceso general para la obtención de bebidas (Jeske, et al., 2018) .....	20
Figura 3. Metabolismo homofermentativo de las hexosas vía Embden-Meyerhoff Parnas (Gänzle, 2015).....	30
Figura 4 Metabolismo heterofermentativo de las hexosas vía fosfocetolasa (Gänzle, 2015).....	30
Figura 5. Clasificación de análogos de queso basados en la fuente de proteínas y aceites usados en la formulación del producto (Bachmann, 2001).....	34
Figura 6. Procesamiento típico para quesos análogos tipo mozzarella de baja humedad (Fox, et al., 2000).....	35
Figura 7. Metodología.....	38
Figura 8. Tratamiento 1 (Khee, 1993).....	41
Figura 9. Tratamiento 2 (Pinthong, et al., 2007).....	42
Figura 10. Tratamiento 3.....	43
Figura 11. Tratamiento 4.....	44
Figura 12. Tratamiento 5.....	45
Figura 13. Cuestionario aplicado a estudiantes de la Facultad de Química.....	47
Figura 14. Procedimiento para la elaboración de un análogo de queso a base de garbanzo Modificado de (Monroy-Galván, 2016).....	51
Figura 15. Método para la determinación de polifenoles por medio del método de Folin-Ciocalteu (Modificado de (Wooki, et al., 2018)).....	53
Figura 16 Comparación del nivel de agrado de bebidas de garbanzo .....	61
Figura 17. Preferencia de las bebidas (%) de los tratamiento 3 y 5.....	63
Figura 18 Seguimiento de la acidez (%) durante la fermentación de la bebida inoculada con <i>Lactobacillus bulgaricus sub. delbrueckii</i> y <i>Streptococcus thermophilus</i> .....	63
Figura 19 Seguimiento del pH durante la fermentación de la bebida inoculada con <i>Lactobacillus bulgaricus sub. delbrueckii</i> y <i>Streptococcus thermophilus</i> . .....	64
Figura 20 Seguimiento del crecimiento bacteriano durante la fermentación de la bebida adicionada con inulina e inoculada con <i>Lactobacillus bulgaricus sub. Delbrueckii</i> y <i>Streptococcus thermophilus</i> . .....	65
Figura 21. Análogos de queso. ....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química (%) de leguminosas de mayor consumo a nivel mundial <sup>a</sup> (Belitz, et al., 2012).....	7
Tabla 2. Composición de ácidos grasos en la grasa total de distintas leguminosas (g/100g) (Belitz, et al., 2012). .....	10
Tabla 3. Efectos principales de algunos factores antinutricionales presentes en legumbres (Savón, 2006).....	11
Tabla 4. Aminoácidos presentes en la proteína del garbanzo tipo desi y kabuli (expresados en g/16 gN) (Wood & Gruzak, 2007).....	15
Tabla 5. Ácidos grasos presentes en garbanzo tipo desi y kabuli (expresados en mg/ g de lípidos) (Wood & Gruzak, 2007). .....	16
Tabla 6. Contenido de distintos tipos de carbohidratos presentes en dos tipos de garbanzo (Wood & Gruzak, 2007). .....	17
Tabla 7. Ingredientes usados para el procesamiento de análogos de queso (Fox, et al., 2000). .....	36
Tabla 8 Formulación típica (%) de un queso con baja humedad (Guinee, 2011).....	50
Tabla 9 Formulaciones para la elaboración de dos análogos de queso a partir de garbanzo .....	51
Tabla 10. Determinaciones de calidad realizadas al garbanzo y su comparación con los valores reportados por la FAO (2007), López-Bellido (1996) .....	54
Tabla 11. Comparación del análisis fisicoquímico del garbanzo (g/100g de garbanzo) en base seca con los valores reportados por Belitz, <i>et al.</i> (2012).....	56
Tabla 12 Rendimiento entre cada tratamiento respecto al garbanzo, proteína y SNP (g componente / 100 g) .....	57
Tabla 13. Análisis químico proximal para la bebida realizada por el Tratamiento 3 (g/100g de bebida) .....	59
Tabla 14. Análisis químico proximal para la bebida realizada por el Tratamiento 3 (g/100g de bebida) .....	60
Tabla 15. Resultados del análisis estadístico de los atributos sensoriales de las bebidas de garbanzo .....	61
Tabla 16 Etiquetado nutrimental para la bebida fermentada. ....	66
Tabla 17 . Etiquetado nutrimental para el análogo de queso .....	68
Tabla 18. Resultados obtenidos para la determinación de polifenoles totales mediante el método de Folin-Ciocalteu expresado en mg GAE*/g de producto. ....	69
Tabla 19. Costeo de materias primas para bebida vegetal. ....	70
Tabla 20. Costeo de materias primas para bebida vegetal fermentada .....	72
Tabla 21. Costeo de materias primas para análogo de queso. ....	73

## RESUMEN

El consumo de productos vegetales se ha incrementado debido a distintos hábitos, ideologías y alergias alimentarias provenientes de productos animales como la leche de vaca, por lo que los consumidores optan por sustituir a este alimento por bebidas vegetales que provienen de distintas semillas como la soya, almendra, arroz y coco. Los principales problemas que presentan este tipo de bebidas son un bajo contenido de proteínas que no son de buena calidad debido a la naturaleza química de sus materia primas. En este trabajo se planteó el uso de garbanzo, el cual es una legumbre que contiene en promedio un 20% de proteínas de alto valor biológico, para la elaboración de una bebida vegetal y dos productos derivados de la elaboración de ésta.

La bebida se formuló con la idea de obtener la mayor cantidad de proteína soluble mediante cinco tratamientos en donde las principales variables fueron: remojo ácido (buffer de citratos [0.2 M; pH: 4.5]), remojo alcalino (buffer de carbonatos [0.2 M; pH: 9.0]), centrifugación (2500 rpm, 5 min.) y una digestión enzimática. A partir de la obtención de las bebidas se determinó el contenido de proteínas para evaluar la extracción de estas en cada tratamiento, además de una evaluación sensorial para conocer los atributos de cada bebida, eligiendo a la bebida con un mayor contenido de proteínas y una mayor aceptación por el análisis sensorial.

Derivado de este primer producto se desarrollaron dos alimentos más: una bebida fermentada con *Lactobacillus delbrueckii sub. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, a la cual se le realizó un seguimiento de los cambios de pH y acidez por 8 horas además de una cinética de crecimiento bacteriano; y por último un análogo de queso fresco derivado del residuo sólido de garbanzo resultante de la elaboración de la bebida vegetal con el fin de reducir el alto porcentaje de merma, haciendo uso de aditivos. A todos los productos desarrollados se les elaboró una hoja de costeo para saber el costo de producción y establecer un precio de venta mínimo al consumidor además de un análisis fisicoquímico con el propósito de elaborar un etiquetado nutrimental el cual cumpla con lo establecido por la NOM-051-SCFI/SSA1-2010.

## INTRODUCCIÓN

En la última década, el énfasis principal de la investigación en todas las secciones del desarrollo de productos alimenticios es abordar las necesidades cambiantes y satisfacer las demandas actuales de los consumidores mediante la creación de nuevas alternativas de alimentos saludables (Sethi, 2016) Cada vez más, los consumidores son más conscientes de la relación entre nutrición y salud. De hecho, el desarrollo de nuevos productos alimenticios no sólo está destinado a satisfacer el hambre y proporcionar nutrientes para los seres humanos, sino también a prevenir enfermedades crónicas relacionadas con la nutrición y a mejorar el bienestar, tanto físico como mental (Bernat, et al., 2014)

Hoy en día, los consumidores se ven influenciados por distintos factores, como la alergia a las caseínas, intolerancia a la lactosa o preferencia hacia dietas vegetarianas para elegir alternativas a los productos lácteos. Estos productos alternativos muestran una tendencia creciente, que puede servir como una alternativa económica hacia el grupo de países en desarrollo y en lugares donde el suministro de leche de vaca es insuficiente (Yadav, et al., 2017) El mercado de estos sustitutos lácteos a base de vegetales es impulsado por muchos intereses e influenciado por diferentes opiniones. Actualmente la mayoría de los consumidores no están eligiendo estos sustitutos de lácteos por necesidad, sino por preferencia (Jeske, et al., 2018)

La principal alternativa para sustituir a la leche son las bebidas vegetales, estos productos son fluidos que resultan de la molienda húmeda de cereales, pseudo cereales, legumbres, oleaginosas o nueces; y la siguiente homogeneización de dichos fluidos que imitan a la leche de vaca en apariencia y consistencia (Sethi, 2016).

Dentro de las bebidas vegetales de mayor consumo se encuentra la “leche de soya”, la cual tiene un alto potencial para suplementar a la leche de vaca y es comparable con la leche materna y la leche de vaca en cuanto a su contenido nutrimental. Al ser elaborada con una oleaginosa se pueden encontrar varias ventajas sobre leche de vaca, por ejemplo un bajo contenido de lípidos saturados y libre de colesterol (Jeske, et al., 2018)

Según (Riaz, 2006), otro sustituto vegetal de un producto lácteo se aplica al yogurt, el “yogurt” a base de bebida de soya es elaborado de la misma manera que el yogurt convencional, en donde a la leche pasteurizada adicionan bifidobacterias o bacterias acidófilas, dando como resultado un producto con alto contenido de proteínas y un gran contenido de isoflavonas.

Dentro del procesamiento de soya se suele tener un alto contenido de merma debido a que se tienden a eliminar los ingredientes insolubles mediante una filtración o centrifugación, a dicho residuo se le suele llamar “okara” (Preece, et al., 2017). La okara es el remanente fibroso del frijol de soya, es alto en humedad, contiene carbohidratos insolubles y fibra dietética, además de proteína remanente y grasas. Este producto no se suele vender en tiendas y puede ser considerado como un desecho en la industria de la “leche de soya” pero puede ser empleado para la elaboración de sustitutos de carnes o transformados a tempeh (Riaz, 2006)

Según datos del SIAP (2016), en México se suele consumir un promedio de 5.0 gramos de garbanzo al año por habitante. Este dato se puede considerar muy bajo a pesar de que México es uno de los principales productores de esta legumbre a nivel mundial. Con este tema de investigación se pretende ofrecer una alternativa de consumo para esta legumbre mediante la elaboración de una bebida vegetal, siguiendo las metodologías encontradas en distintas fuentes bibliográficas con la finalidad de desarrollar un producto que contenga la mayor cantidad de proteínas solubles y un mejor perfil sensorial. Al momento de obtener una bebida con las características mencionadas se espera obtener dos alimentos más, el primero es una bebida vegetal fermentada mediante la adición de dos bacterias: *Lactobacillus delbrueckii sub. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*. Y el segundo producto, un alimento análogo al queso fresco derivado de la “Okara” del garbanzo, con el fin de obtener una línea de productos derivados de esta legumbre sin tener un porcentaje de merma elevado.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Empleando garbanzos como materia prima inicial y mediante el uso de distintos tratamientos que involucran dos tipos de molienda, remojos a distintos valores de pH y una digestión enzimática, desarrollar tres productos: una bebida vegetal, una bebida vegetal fermentada y un análogo de queso.

### Objetivos particulares

- ☞ Evaluar la calidad de garbanzos mediante la ejecución de pruebas fisicoquímicas
- ☞ Realizar un análisis químico proximal de garbanzos para conocer la composición nutrimental de la materia prima con la cual se formularán los productos.
- ☞ Obtener bebidas vegetales a base de garbanzo mediante distintos tratamientos para determinar el porcentaje de proteínas extraído.
- ☞ Realizar una evaluación sensorial de las bebidas con mayor contenido de proteínas mediante una prueba de preferencia y nivel de agrado para conocer la preferencia sobre los tratamientos efectuados.
- ☞ Realizar una fermentación con *Lactobacillus delbrueckii sub. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* de la bebida con mayor preferencia y contenido de proteínas para obtener una bebida vegetal fermentada.
- ☞ Formular un análogo de queso fresco con los residuos sólidos de garbanzo derivados de la elaboración de la bebida vegetal mediante la adición de gomas y sales.
- ☞ Cuantificar el poder antioxidante de los tres productos y del garbanzo mediante la reacción de Folin-Ciocalteu.
- ☞ Realizar un análisis químico proximal de los tres productos elaborados para elaborar un etiquetado que cumpla con los requisitos de la NOM-051-SCFI/SSA1-2010.

## **HIPÓTESIS**

Si se emplea garbanzo como materia prima principal y se somete a distintos tratamientos para extraer su proteína, entonces se podrá obtener una bebida vegetal y una bebida vegetal fermentada con alto contenido de éste nutrimento además de un análogo de queso a partir del residuo generado.

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Leguminosas.

Las leguminosas son un conjunto de plantas que generan una vaina, la cual contiene semillas comestibles que, en un estado seco, se les denomina legumbres. Se pueden almacenar por largos períodos y su aporte nutricional se basa en carbohidratos, proteínas y vitamina B (SIAP, 2016). Son cultivos leguminosos anuales que producen entre uno y doce granos o semillas de tamaño, forma y color variables dentro de una vaina, los que se utilizan para alimento y forraje. Las leguminosas de consumo humano son las especies de la familia *Leguminosae*, que se consumen generalmente en forma de semillas secas maduras, pero a veces como semillas verdes no maduras o como vainas verdes con semillas inmaduras adentro (Gil-Hernández, 2010)

Las legumbres son clave en la seguridad nutricional de grandes grupos de población. Constituyen la principal fuente de proteínas en muchos países en desarrollo, en especial entre los grupos de la población más pobres, que obtienen las proteínas y la energía de fuentes vegetales. Mientras que en los países desarrollados donde el consumo de legumbres había disminuyendo con los años, la consideración como alimentos saludables ha favorecido el incremento de su consumo (FAO, 2005)

Se han usado en la alimentación humana desde el principio de los tiempos, dado su elevado valor nutritivo, su adaptación a muy diversas preparaciones culinarias, y su fácil conservación debido a un tegumento bastante impermeable que las aísla del exterior. Dentro de ellas se pueden diferenciar dos grupos claramente distintos en función de su contenido lipídico: aquellas cuyo contenido en grasa es elevado, se denominan oleaginosas, y aquellas cuyo contenido en grasa es inferior son las que conocemos como legumbres secas o leguminosas grano (Hernández & Sastre, 1999)

Las semillas maduras de las leguminosas tienen cuatro componentes principales: la testa, piel o cáscara, los cotiledones y el eje embrional o hipocotilo. En las células de los cotiledones se encuentran los órganos

protéicos y los gránulos de almidón, que constituyen la estructura anatómica de reserva dentro de las semillas (Gil-Hernández, 2010).

### 1.1.2 Composición nutricional

A continuación se muestran los contenidos nutrimentales de diversas leguminosas y oleaginosas de consumo en el mundo:

**Tabla 1.** Composición química (%) de leguminosas de mayor consumo a nivel mundial<sup>a</sup> (Belitz, et al., 2012)

Nombre	Nombre científico	Proteína cruda <sup>b</sup>	Lípidos	Carbohidratos disponibles	Fibra dietética	Minerales
Soya	<i>Glycine hispida max</i>	41.9	19.6	7.6	24.0	5.5
Cacahuete	<i>Arachis hypogaea</i>	31.4	50.7	7.9	12.3	2.7
Chícharos	<i>Pisum sativum</i>	25.7	1.4	53.7	18.7	3.0
Frijoles	<i>Phaseolus vulgaris</i>	24.1	1.8	54.1	19.2	4.4
Ejotes	<i>Phaseolus coccineus</i>	23.1	2.1	n. a.	n.a	3.9
Garbanzos	<i>Cicer arietinum L.</i>	22.7	5.0	54.6	10.7	3.0
Habas	<i>Vicia faba</i>	26.7	2.3	n. a.	n.a	3.6
Lentejas	<i>Lens culinaris</i>	28.6	1.6	57.6	11.9	3.6

<sup>a</sup> Los resultados son valores promedio presentados en base seca.

<sup>b</sup> N x 6.25.

n. a.: no analizados.

La *Food and Agriculture Organization* (FAO) diferencia entre dos tipos de semillas leguminosas: por un lado, las que reciben a denominación de legumbres, que se caracterizan por tener un bajo contenido en grasa (por ejemplo: garbanzo, lenteja, alubias, frijoles, etc.) y, por otro, las semillas con un elevado contenido en grasa, entre las que se encuentran principalmente los cacahuates y la soya, y que reciben el nombre de oleaginosas (Gil-Hernández, 2010). Se puede resaltar que a diferencia de los alimentos de origen animal, las legumbres aportan hidratos de carbono complejos y tienen un elevado contenido en fibra, calcio y otros minerales, además de que contiene proteínas

ricas en lisina pero con un aminoácido limitante, la metionina, lo que disminuye su valor biológico (Hernández & Sastre, 1999).

#### **1.1.2.1 Proteínas**

Las legumbres destacan por su alto contenido proteico, lo que ha dado motivo a que en algunas ocasiones se las incluya en distintos grupos de alimentos al clasificarlas: o bien junto a los alimentos eminentemente proteicos (carne, pescados, huevos), o junto a cereales y tubérculos, en función del origen vegetal de todos ellos y de su elevado contenido de hidratos de carbono (Hernández & Sastre, 1999). Vale la pena destacar que las legumbres son altamente eficientes en el uso de agua, especialmente en comparación con otras fuentes de proteína. Por ejemplo, un kg de carne de res cocida requiere 10 veces más cantidad de agua que 1 kg de lentejas (FAO, 2016). El contenido de proteína bruta oscila entre el 20 y 35%, aunque hay variedades de semillas que pueden presentar un contenido superior. Las proteínas de las legumbres se clasifican como proteínas de reserva o globulinas, que constituyen la mayor proporción y se encuentran en los órganos protéicos, y proteínas funcionales y estructurales, que son las albúminas y glutelinas. Casi todas las proteínas de las legumbres contienen un 70% de globulina, un 10-20% de albúmina y un 10-20% de glutelina (Gil-Hernández, 2010).

Casi todas las legumbres contienen más proteínas que la carne, pero la proteína es de calidad un poco inferior debido a que contiene menos metionina. Sin embargo, cuando las semillas comestibles y los cereales se consumen en una misma comida, suministran una mezcla de proteínas con buena cantidad de aminoácidos, lo que mejora el valor proteico de la dieta (FAO, 2016).

A pesar de su alta proporción de proteínas, debemos tener en cuenta que el valor biológico de las mismas no es tan elevado como en los alimentos de origen animal. Se caracterizan porque los aminoácidos limitantes son azufrados, suelen tener pequeña cantidad de triptófano y son ricas en lisina. Esta característica hace que se consuman asociadas a los cereales, cuyo aminoácido limitante es la lisina, con el fin de complementar ambas proteínas, aumentando así su aprovechamiento (Gil-Hernández, 2010). Según Gil (2010),

Los siguientes factores son los causantes del bajo valor nutrimental en comparación con las proteínas de origen animal:

- El contenido de aminoácidos esenciales es limitante en cuanto a aminoácidos azufrados se refiere (metionina y cisteína).
- La estructura cuaternaria de las proteínas es más compacta y dificulta la acción de enzimas.
- La presencia de inhibidores de las proteasas que inhiben la actividad de las proteasas digestivas.

Durante la cocción se puede elevar el valor nutritivo de la proteína de las legumbres, ya que el calor inactiva a los inhibidores de tripsina además de que produce cambios estructurales en la proteína lo que facilita la proteólisis con enzimas digestivas a nivel intestinal (Gil-Hernández, 2010) Inhibidores de enzimas digestivas y, más concretamente, inhibidores de proteasas, que actúan principalmente frente a la tripsina y la quimotripsina, lo que da lugar a que se vea afectado el metabolismo de las proteínas, produciendo pérdidas de peso, eliminación de nitrógeno por heces e hipertrófia pancreática. Este tipo de compuestos se eliminan en gran medida por el tratamiento térmico en presencia de agua, esto es, por la cocción (Hernández & Sastre, 1999)

### **1. 1. 2. 2. Carbohidratos**

Entre los carbohidratos disponibles el mayoritario es el almidón, que puede encontrarse en cifras cercanas a al 55-60 por 100 o incluso superiores. Los no disponibles o fibra alimentaria son constituyentes mayoritarios de la cubierta externa que protege a la semilla, y dado que la legumbres se consumen enteras, el aporte de fibra, tan importante en la alimentación está asegurado (Hernández & Sastre, 1999). Las legumbres se suelen caracterizar por presentar un alto contenido en oligosacáridos, destacando como mayoritarios la rafinosa, estaquiosa y la verbascosa, que junto con otros componentes indigestibles son los responsables de producir flatulencias en el humano (Gil-Hernández, 2010). Se tratan de azúcares complejos, constituidos por varios monosacáridos, capaces de generar gases (anhídrido carbónico, metano, hidrógeno) en el intestino, y que resultan desagradables tras el consumo de las legumbres. Estos azúcares responsables de flatulencia son  $\alpha$ -galactósidos,

constituidos por tres, cuatro y cinco monosacáridos (Hernández & Sastre, 1999).

### 1. 1. 2. 3. Lípidos

El contenido de lípidos en las leguminosas es muy bajo, por lo que no se puede considerar como una fuente importante de este nutrimento, con excepción de la soya y el cacahuate. Como se puede observar en la **Tabla 2**, los lípidos que predominan son los triglicéridos, compuestos por ácidos grasos poliinsaturados (75%) especialmente el ácido linoléico y en menor cantidad el ácido linolénico. En el caso de las oleaginosas, la acumulación de lípidos va acompañada de un decremento de los hidratos de carbono, lo que significa que es muy probable que éstos sean los precursores en la síntesis del aceite (Belitz, et al., 2012).

**Tabla 2.** Composición de ácidos grasos en la grasa total de distintas leguminosas (g/100g) (Belitz, et al., 2012).

Ácido graso	Garbanzos	Lentejas	Soya	Cacahuate
14:0	1.3	0.85	0	0
16:0	8.9	23.2	10	10
18:0	1.6	4.6	5	3
20:0	0.03	2.3	0.5	1.5
22:0	0	2.7	0	3
24:0	0	0.85	0	0
16:1 (9)	0.05	0.15	0	0
18:1 (9)	35.4	36.0	21	41
18:2 (9, 12)	51.1	20.6	53	35.5
18:3 (9, 12, 15)	1.7	1.6	8	0
20:1	0	1.9	0.5	1

### 1 .1. 2. 4. Factores antinutricionales.

La disponibilidad de los nutrimentos mencionados anteriormente, principalmente el alto contenido de proteína y vitaminas, no se pueden aprovechar en toda su potencialidad por el efecto limitante que imponen los denominados factores antinutricionales (FAN), su acción no sólo interfiere en el aprovechamiento de los nutrientes, sino que pueden causar pérdida de proteína endógena, que a veces produce daños al animal que los consume

(Savón, 2006) Estos FAN pueden ser disminuidos mediante tratamientos simples como la cocción, germinación, fermentación entre otros. Los distintos FAN presentes en las leguminosas tienen efectos específicos, los cuales se ejemplifican en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Efectos principales de algunos factores antinutricionales presentes en legumbres (Savón, 2006).

Factores antinutricionales	Efectos en animales
Lectinas y proteínas antigénicas	Ocasiona daños en pared intestinal. Reacción inmunológica.
Inhibidores de proteasa	Reduce la actividad de la quimotripsina. Origina hipertrofia del páncreas. Disminuye el metabolismo de los nutrientes.
Taninos y polifenoles	Forma complejos con las enzimas y las proteínas. Reduce la digestibilidad de la proteínas
Inhibidores de $\alpha$ -amilasa	Reduce la disponibilidad del almidón Forma complejos con la amilasa salivar y el jugo pancreático
Fitatos	Disminución en la biodisponibilidad de minerales. Forma complejos con enzimas digestivas
Factores de flatulencia	Problemas gastrointestinales.

### 1. 1. 3. Consumo y producción a nivel nacional.

El cultivo de legumbres se remonta a las antiguas civilizaciones, las cuales las empleaban como parte de su alimentación siendo un cultivo imprescindible para combatir la mala nutrición, al mismo tiempo que mejoraban la salud y la sostenibilidad del campo. Sin embargo, su evolución está lejos del auge de otros cultivos básicos como el trigo, maíz, el arroz y la soya; en los últimos 50 años su producción se ha incrementado un 188% para el trigo, 306% en maíz, 212% en arroz y el 814% para la soya; mientras que la producción de legumbres sólo ha representado un crecimiento del 54% (Maluenda, 2016). Las legumbres han sido una parte esencial de la dieta humana durante siglos, la

producción agrícola de frijoles, garbanzos y lentejas se remonta al 7000-8000 a. C. y se pueden almacenar durante meses si que pierdan su elevado valor nutricional, aumentando la disponibilidad de alimentos entre cosecha y cosecha y lo más importante es que necesitan poco agua para su producción en comparación con fuentes animales, como se muestra en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Consumo de agua para producir legumbres en comparación con otras fuentes de proteínas (FAO, 2016).

Según datos de la FAO (2016), la producción mundial de legumbres ha aumentado más del 20% en los últimos 10 años, pero el consumo se ve disminuido entre todos los países del mundo. El consumo de legumbres en los países en desarrollo representa el 75% de la dieta alimenticia, mientras que en los países industrializados únicamente el 25%.

El consumo de legumbres en el mundo ha descendido por el cambio en la dieta del consumidor, siendo más notorio este descenso en los países industrializados.

En México, se destinan alrededor de 1.93 millones de hectáreas al cultivo de cinco legumbres: frijol (91.7% de esa superficie), garbanzo (6.4%), haba (1.4%), lenteja (0.4%) y arveji3n (0.1%). En conjunto, contribuyen con el 6.4% del valor total de los cultivos anuales. En el 2015, se produjo un promedio anual de 1.22 millones de toneladas de frijol, 217, 834 toneladas de garbanzo; 29, 845 toneladas de haba; 5, 093 toneladas de lenteja y 2, 664 toneladas de arveji3n (Gauc3n, 2016)

Datos del (SIAP, 2016) sitúa al pa3s de Birmania como el 1<sup>er</sup> productor a nivel mundial de frijol con 3, 700, 000 toneladas y a M3xico como el 4<sup>to</sup> productor mundial con 1, 294, 634 toneladas; siendo que los principales estados productores son Zacatecas (29.9%), Durango (11.5%), Chihuahua (9.9%) y

Sinaloa (8.7%), aunque en todos los estados de la república mexicana se siembra esta leguminosa que tiene más de 70 variedades, entre las que destacan: los claros, negros, pintos y flores; su consumo anual per cápita es de 8.4 kg.

Respecto al cultivo de garbanzo, el SIAP (2016) muestra que el principal producto a nivel mundial es la India con 8, 832, 500 toneladas y México como el 8<sup>vo</sup> productor con 209, 941 toneladas. Los principales estados productores de esta leguminosa son: Sinaloa (56.9%), Sonora (19.4%), Michoacán (10.9%) y Guanajuato (8.1%) y se encuentra que el consumo anual de esta leguminosa es de 5.0 gramos por persona.

### **1. 2. Garbanzo**

El garbanzo se cultiva en diferentes partes del mundo, entre los países de mayor producción son en muchas partes del mundo por ser una importante fuente de alimento humano y animal, ya que posee un alto valor nutritivo. Contienen entre 17 y 24% de proteína bruta, las cuales dentro de las leguminosas, son de la mejor calidad por su composición en aminoácidos (Morales & Durón, 2004)

Su desarrollo y crecimiento está influenciado por el medio ambiente y por el manejo agronómico. Es una planta anual, desarrolla un sistema de raíces que normalmente alcanza entre los 40 y 50 cm de profundidad; presenta un tallo principal del cual se originan las ramas primarias y secundarias las cuales desarrollan nudos vegetativos, generándose una hoja a partir de cada uno de ellos. Su altura fluctúa entre 40 y 50 cm, sus flores se caracterizan por tener coloraciones relacionadas con el color del grano, generalmente blancas en plantas de grano blanco y púrpura en las de grano de color. Sus frutos tienen forma de cápsula, de forma oblonga, globosa, pubescente y puntiaguda; sus semillas son de forma globosa y en general puntiagudas mostrando un pico característico; su color puede ser blanco, crema, amarillento, anaranjado, café, rojizo o negro. El peso de las semillas en garbanzo blanco es muy variable, oscilando de 50 a 70 gramos por cada 100 semillas (Morales & Durón, 2004).

### **1. 2. 1. Contenido de proteínas y aminoácidos.**

El contenido de proteína en el garbanzo puede ser del 16.7 al 30.6% en el tipo kabuli y del 12.6 al 29% en el tipo desi. La composición de aminoácidos es muy balanceada sin tomar en cuenta a los aminoácidos limitantes (metionina y cisteína), aunque es alto en lisina. Por lo tanto, el garbanzo es buen compañero de los cereales, que son conocidos por ser altos en aminoácidos azufrados siendo su aminoácido limitante la lisina (Wood & Gruzak, 2007)

La mayoría de las proteínas que se encuentran en el garbanzo son de reserva, y tomando en cuenta su solubilidad se clasifican como albúminas, globulinas y glutelinas. Aproximadamente, el 70% de sus proteínas son globulinas, el 20% suelen ser albúminas y las glutelinas se encuentran entre el 10 al 20% (Aguilar-Raymundo & Vélez-Ruiz, 2013). En la **Tabla 4** se muestra el contenido de aminoácidos presentes en los dos tipos de garbanzo y se han subrayado a los aminoácidos esenciales de color azul y los no esenciales en color verde.

Aminoácidos presentes en la proteína del garbanzo tipo desi y kabuli (expresados en g/16 gN) (Wood & Gruzak, 2007).

La calidad de una proteína representa el grado de aproximación química (contenido y proporción de aminoácidos) de la proteína de la dieta respecto al cuerpo, de entre todos los aminoácidos que puede contener los más importantes en nutrición humana son los aminoácidos esenciales (Soriano del Castillo, 2006). Las leguminosas aportan proteínas que no son de alta calidad por presentar dos aminoácidos esenciales en baja proporción (Metionina y triptofano), que en este caso se les denomina como aminoácidos limitantes.

**Tabla 4.** Aminoácidos presentes en la proteína del garbanzo tipo desi y kabuli (expresados en g/16 gN) (Wood & Gruzak, 2007).

Aminoácido	Tipo Kabuli		Tipo Desi	
	Mínimo	Mínimo	Máximo	Máximo
Alanina	2.81	2.64	6.06	5.66
Arginina	5.14	5.10	12.79	13.20
Á. aspártico	8.49	8.36	14.19	14.26
Cisteína	0.53	0.50	1.93	1.77
Á. glutámico	13.14	12.94	21.09	18.90
Glicina	2.49	2.44	5.10	4.43
Histidina	1.40	1.48	5.71	4.20
Isoleucina	3.20	2.15	5.82	6.03
Leucina	5.73	3.12	9.95	9.09
Lisina	4.85	4.86	9.62	8.71
Metionina*	0.61	0.64	2.29	3.63
Fenilalanina	4.06	2.76	6.83	8.41
Prolina	2.88	2.82	4.98	5.28
Serina	3.13	3.26	6.08	5.89
Treonina	2.59	1.18	5.58	4.93
Triptófano*	0.31	0.39	1.20	2.36
Tirosina	1.10	0.71	3.81	4.21
Valina	3.11	2.03	5.55	6.22

\*Aminoácidos limitantes

### 1. 2. 2. Contenido de lípidos

El garbanzo contiene un alto contenido de lípidos respecto a otras leguminosas. La concentración de los tipos desi y Kabuli tienen un rango entre los 2.9 a 7.4% y del 3.4 a 8.8% respectivamente. El contenido total de lípidos comprende ácidos grasos poliinsaturados (62-67%), monoinsaturados (19-26%) y saturados (12-14%).

**Tabla 5.** Ácidos grasos presentes en garbanzo tipo desi y kabuli (expresados en mg/ g de lípidos) (Wood & Gruzak, 2007).

Ácido graso	Tipo Kabuli		Tipo Desi	
	Mínimo	Mínimo	Máximo	Máximo
Mirístico (14:0)	0.01	0.2	0.2	0.2
Palmítico (16:0)	3.3	9.1	11.5	10.8
Palmitoléico (16:1) $\Delta^{9c}$	0.002	-	0.3	0.2
Estearico (18:0)	0.05	0.3	1.8	5.4
Vaccénico (18:1 $\Delta^{11t}$ )	0.7	1.2	1.4	1.3
Eláidico (18:1, $\Delta^{9t}$ )	0.7	1.0	1.0	1.0
Oléico (18:1, $\Delta^{9c}$ )	17.37	17.6	23.3	32
Linoléico (18:2) $\Delta^{9t}, \Delta^{12t}$	16.4	45.95	61.5	70.4
Linolénico (18:3) $\Delta^{9c}, \Delta^{12c}, \Delta^{15c}$	0.3	2.16	4.8	3.3
Totales 18:1	0.7	0.6	0.8	0.9
Araquídico (20:0)	0.5	0.5	0.6	0.7
Eicosenóico (20:1) $\Delta^{11c}$	0.5	0.4	0.8	0.6
Behénico (22:0)	0.3	0.1	0.1	0.5
Lignocérico (24:0)	12	-	13.4	14
Saturados totales	5	-	28.8	29
Monoinsaturados totales	19	-	29.0	29.0
Poliinsaturados totales	62	-	57.6	67

### 1. 2. 3. Contenido de carbohidratos.

Los carbohidratos son el componente nutrimental mayoritario en el garbanzo, con un contenido del 51 al 65% en el tipo desi y un 54-71% en el tipo kabuli, donde los carbohidratos con mayor contenido son monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos (Aguilar-Raymundo & Vélez-Ruiz, 2013). En la **Tabla 6** se muestra la composición general de los carbohidratos presentes en dos tipos de garbanzo.

**Tabla 6.** Contenido de distintos tipos de carbohidratos presentes en dos tipos de garbanzo (Wood & Gruzak, 2007).

Carbohidratos	Tipo Desi		Tipo Kabuli	
	Mínimo	Mínimo	Máximo	Máximo
Totales (g/100 g)	60.64	64.9	54.27	70.9
No solubles (%)	-	12.2	-	8.78
Solubles	5.33	11.8	6.65	7.5
Azúcares reductores	2.61	4.77	2.25	2.42
Azúcares no reductores	1.12	1.89	4.4	5.08
Azúcares totales	2.2	10.7	5.5	10.85
Almidón	32	56.3	30.0	57.2
Amilosa	20	42	20.7	46.5
Almidón resistente	-	3.39	0.31	16.43
ADF	9.4	16.7	3.24	12.2
NDF	15.6	30.2	5.16	16
Fibra dietética	18.4	22.7	10.6	16.63
Fibra dietética soluble	-	0.0	-	-
Fibra dietética insoluble	-	13.9	-	-
Hemicelulosa	3.5	8.8	4	7.3
Pectinas	1.5	3.8	2.4	4.1
Lignina	1.3	17.0	0.01	2.1

Los monosacáridos y disacáridos libres con mayor concentración en el garbanzo son glucosa (0.7%), fructosa (0.25%), ribosa (0.1%), galactosa (0.05%), sacarosa (1-2%) y maltosa (0.6%).

### 1. 2 3. 1. Oligosacáridos

Este grupo de carbohidratos se considera tradicionalmente como producto de la condensación de entre 3 y 10 monosacáridos mediante enlaces glucosídicos. Este tipo de azúcares se suelen sintetizar por la unión de dos monosacáridos (con la consecuente pérdida de una molécula de agua) pero también mediante la hidrólisis de polisacáridos (azúcares con más de 10 monómeros) (Badui, 2006)

Las leguminosas son fuentes importantes de  $\alpha$ -galactosacáridos: rafinosa, estaquiosa y verbascosa. Este tipo de azúcares son considerados como FAN debido a que no son hidrolizados ni absorbidos por el sistema digestivo, al momento de atravesar sobre el intestino grueso donde son fermentados por bacterias produciendo gases intestinales, es decir, su consumo causa flatulencias. Los oligosacáridos con mayor importancia en el garbanzo son rafinosa, estaquiosa, ciceritol y verbascosa, reportados en cantidades cerca del 2.2%, 6.5%, 3.1% y 0.4% respectivamente (Wood & Gruzak, 2007).

### **1. 2. 3. 2. Polisacáridos**

Constituyen un grupo heterogéneo de polímeros, en el que intervienen más de 10 monosacáridos unidos por enlaces glucosídicos. Casi todos los polisacáridos naturales contienen cientos de monómeros y, en ocasiones, varios miles. Generalmente son clasificados por su función, ya sea como reserva de energía o como soporte estructural (Badui, 2006). En las leguminosas, los dos tipos de polisacáridos de reserva de energía son los galactomananos y el almidón, de los cuales el garbanzo sólo contiene almidón.

### **1. 2. 3. 3. Almidón**

Es el principal constituyente en las semillas de garbanzo (30 a 57%) y es la principal fuente de energía dietética derivada del garbanzo. Está compuesto por dos tipos de polímeros de glucosa (amilosa y amilopectina) con diferentes proporciones. La amilosa es una molécula lineal y comprende del 20 al 41% y el 23 al 47% en los garbanzos de tipo desi y kabuli respectivamente. El restante 59 al 80% y el 53 al 77% respectivamente es amilopectina. Por otra parte, el almidón suele clasificarse de acuerdo a su digestibilidad como soluble, insoluble o resistente, lo cual depende únicamente de la estructura física del gránulo de almidón y el método de preparación. Los garbanzos de tipo kabuli suelen contener cerca del 16.43% y el tipo desi del 3.4 al 10.3% de almidón resistente (Wood & Gruzak, 2007).

### **1. 3. Bebidas vegetales**

Los sustitutos la leche a base de plantas son extractos acuosos de legumbres, leguminosas, cereales o pseudocereales que imitan a la leche de vaca en apariencia y consistencia, fisicoquímicamente son suspensiones coloidales o emulsiones que consisten en componentes de plantas desintegradas y

disueltas (Yadav, et al., 2017). La bebida vegetal de mayor consumo es la leche de soya, un producto que ha comenzado con su viaje desde Asia a los estantes de los supermercados en Europa y los Estados Unidos poco menos de hace cien años, aunque a nivel mundial existen una gran variedad de bebidas a base de vegetales en todo el mundo, por ejemplo la horchata o “leche de chufa” en España; Sikhye, una bebida hecha de arroz cocido, extracto de malta y azúcar en Corea del Sur; Boza, una bebida fermentada hecha de trigo, centeno, mijo y maíz consumida en Bulgaria, Albania, Turquía y Rumania; Bushera, una bebida fermentada con malta, sorgo o mijo que se consume en Uganda y la tradicional “leche de soya” originaria de China, la cual es la bebida vegetal de mayor consumo (Mäkinen, et al., 2016)

Estas bebidas vegetales pueden emplearse como un sustituto a la leche de vaca, sus ventajas son que no contienen lactosa, colesterol ni proteína de origen animal, además de que por su origen y composición son muy digestivas, ayudan a las personas con estreñimiento, colon irritable entre otras cosas y suelen consumirse como la leche de vaca ya que se pueden tomar solas o endulzadas, con café, cereales, etcétera (Gaspoz, 2014).

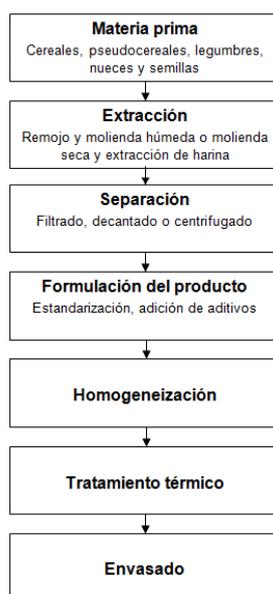
De acuerdo a un estimado, el 15% de consumidores europeos evitan productos lácteos por diversos motivos, incluyendo razones médicas como la intolerancia a la lactosa, alergia a la leche de vaca, problemas de colesterol y fenilcetonuria, también decisiones en el estilo de vida como las dietas veganas o vegetarianas o preocupaciones sobre el crecimiento de hormonas o residuos de antibióticos en la leche de vaca. Por lo que es necesario el desarrollo de alternativas a los lácteos debido a alergias a proteínas lácteas, lactosa y alto contenido en colesterol (Mäkinen, et al., 2016).

No existe una definición y clasificación para este tipo de bebidas en la literatura, una clasificación general de estos productos comprende cinco categorías que se basan de acuerdo a la materia prima empleada: a base de cereales (arroz, avena, maíz), legumbres (soya, cacahuate, lupino), nueces (almendra, coco, pistache, nuez, avellana), semillas (ajonjolí, linaza, girasol) y pseudo-cereales (quinoa, amaranto, chía) (Sethi, 2016).

### 1. 3. 1. Procesamiento

De acuerdo a Diarra (2005), las bebidas vegetales son suspensiones coloidales o emulsiones que comprenden a las partículas disueltas y desintegradas de la materia prima vegetal.

El tratamiento general para un proceso moderno es esencialmente el mismo para los distintos tipos de materias primas, en la **Figura 2** se muestra un esquema general para la obtención de bebidas vegetales. En términos generales para la obtención de una bebida vegetal se comienza con una recepción de materia prima, la cual debe de cumplir con ciertas características de calidad dependiendo del tipo de materiales a emplear con el fin de obtener un producto aceptable. Después se continúa con cinco procesos comunes en las bebidas vegetales (con ciertas variaciones), dichos pasos comprenden la extracción, separación de sólidos, formulación del producto, homogeneización y un tratamiento térmico (Bernat, et al., 2014).



**Figura 2.** Proceso general para la obtención de bebidas (Jeske, et al., 2018)

#### 1.3.1.1 Tratamientos previos.

El tratamiento previo de la materia prima cruda incluye limpieza del grano, descascarillado, remojo y blanqueamientos. El blanqueamiento es requerido para disminuir el contenido de microorganismos presentes en las semillas, ayuda al pelado de las semillas además de que ayuda a desactivar FAN como los inhibidores de tripsina y la lipooxigenasa que puede provocar sabores desagradables en las leches de soya y cacahuete (Yadav, et al., 2017) aunque

este tratamiento causa desnaturalización de las proteínas y puede formar agregados de proteína lo cual causaría un rendimiento menor para la extracción de proteínas (Preece, et al., 2017).

Para el caso de bebidas a base de cereales, un paso que antecede a la molienda es un acondicionamiento con el fin de poder descascarillar, lavar y clasificar el grano (Bernat, et al., 2014). El acondicionamiento consiste en la adición de agua al cereal dejándolo en reposo por 24 horas. Los objetivos de este proceso son tres: aumentar la humedad del endospermo, facilitar la molienda y reforzar la fibra para evitar que ésta se rompa en fragmentos pequeños difíciles de separar (Dendy & Dobraszczyk, 2001)

El tamaño de partícula y la estabilidad final del producto dependerá de la naturaleza de la materia prima, el método ocupado para su desintegración y las condiciones de almacenamiento (Sethi, 2016).

#### **1.3.1.2 Extracción.**

Para el caso de las bebidas elaboradas a base de cereales se comienza con una molienda seca, la cual tiene por objetivo la transformación del endospermo del grano en harina y sémolas además de la separación, lo más íntegra posible, de las cubiertas del grano (fibra o salvado) y el germen (Dendy & Dobraszczyk, 2001). Una vez molido el grano, se continúa con la extracción que empieza con la adición de agua caliente y el cereal molido al mismo tiempo, usualmente se usan molinos coloidales para reducir el tamaño de partícula del sólido en suspensión acuosa aplicando altos niveles de cizalla hidráulica al líquido. Este paso ocurre a temperaturas altas (60-80°C aproximadamente), por un lado para facilitar la extracción de compuestos solubles y por otro lado para provocar la gelatinización del almidón y así mejorar un siguiente tratamiento enzimático (Bernat, et al., 2014).

Para el caso de las materias primas que no necesitan una molienda en seco se comienza con un remojo de la materia prima antes de la extracción, sin embargo en la mayoría de las plantas procesadoras esto no se emplea debido a la generación de sabores desagradables. Aun así, a la materia prima se le aplica una molienda en húmedo para romper las células intactas del cotiledón con el fin de que las proteínas y otros componentes estén disponibles para la

extracción acuosa, para esto dos de tres molinos se pueden usar en secuencia, como un molino de disco, molino coloidal y/o un homogeneizador de alta presión (Preece, et al., 2017).

El proceso de extracción tiene un profundo efecto en la composición del producto final. Para incrementar el rendimiento del proceso, la eficiencia de este paso puede ser aumentada mediante el incremento del pH con  $\text{NaHCO}_3$  o  $\text{NaOH}$ , temperaturas elevadas o el uso de enzimas (Mäkinen, et al., 2016). El paso determinante de la velocidad para la transferencia de masa es muy probablemente la solubilización de los componentes intracelulares y su transferencia a la superficie. La solubilización de la proteína está influenciada por distintos parámetros de proceso, lo que impacta en la extracción de los componentes intracelulares dentro de la bebida son: el tamaño de partícula de la materia prima, pH, fuerza iónica y temperatura del disolvente, tiempo de solubilización y concentración proteínica de la bebida resultante (Preece, et al., 2017).

Debido a que la mayoría de las proteínas en los cereales y en las legumbres tienen un punto isoeléctrico debajo de 5 lo que se traduce a una baja solubilidad, por tal motivo durante la extracción se suelen emplear un pH alcalino lo que puede aumentar el porcentaje de proteína extraída. Una extracción realizada a altas temperaturas incrementa el porcentaje de grasa, pero la desnaturalización de proteínas disminuye su solubilidad y por lo tanto el rendimiento. Sin embargo, la extracción de proteína puede ser aumentada mediante la hidrólisis de proteína usando enzimas de origen microbiano, vegetal o animal (Mäkinen, et al., 2016).

Un proceso para la aumentar el rendimiento de la extracción se hace mediante la hidrólisis de las proteínas y polisacáridos mediante el uso de enzimas. Dependiendo del tipo de enzima que se empleé va a ser el tipo de componente que se va a extraer con mayor rendimiento. Se ha encontrado que si se emplea proteasa se puede elevar el contenido de proteína y de lípidos en el caso de soya, especialmente cuando las proteínas están desnaturalizadas o en agregados (Preece, et al., 2017). Algunas enzimas de origen vegetal como la papaína pueden ser usadas para la hidrólisis de proteínas de harina de soya y

de trigo. Las enzimas que tienen un mayor uso son la pepsina, bromelina, tripsina, quimotripsina y papaína bajo su respectivo pH y temperatura óptima. (Yadav, et al., 2017).

#### **1.3.1.3 Separación de sólidos.**

Para la remoción de los ingredientes insolubles, generalmente técnicas de filtración o centrifugación son empleadas, sin embargo el decantado es la elección usada con más frecuencia en producciones continuas. Si es necesaria la separación de otras fracciones, como la fase grasa, las partículas solubles e insolubles, un decantador trifásico puede ser una mejor opción (Preece, et al., 2017). Aunque cuando se usan materias primas ricas en grasa (como los cacahuates), el exceso se puede remover usando una descremadora como en la industria láctea (Yadav, et al., 2017).

Para la elaboración de bebidas vegetales se considera a la decantación para la eliminación de sólidos insolubles y la centrifugación para separar al extracto en distintas fracciones debido a su densidad. Regularmente se obtienen fases de sólidos mayores, insolubles, solubles y una fase clarificada (Sepúlveda, 2016). En este tipo de productos, la materia insoluble son los ingredientes que no terminan en la bebida ya que algunos sólidos pequeños y/o livianos pueden terminar en la base, en el caso de la “leche de soya” el principal residuo insoluble es la okara, la cual tiene alrededor del 80% de humedad y por lo regular se obtiene el doble de peso que el peso inicial de soya (Preece, et al., 2017).

#### **1.3.1.4 Formulación de producto.**

Dentro de la formulación del producto se tiene que asegurar una calidad nutricional y sensorial agradable para el consumidor, por lo que otros ingredientes pueden ser añadidos a la base de la bebida después de la eliminación de las partículas gruesas. Estos incluyen vitaminas, minerales, endulzantes, saborizantes, sales, aceites y estabilizantes (Yadav, et al., 2017).

Para asegurar la calidad sensorial, se suelen agregar aditivos alimentarios como emulsionantes (lecitina), estabilizantes (hidrocoloides), endulzantes naturales (sacarosa, fructosa, o jarabes de agave, maíz, arroz o trigo) o sintéticos (acesulfame K, aspartame o sucralosa), y algunas veces

saborizantes (cocoa, vainilla o canela). Las cantidades añadidas de estos aditivos tienen rangos del 0.4-2.5% para emulsificantes, 0.025-0.3% para estabilizantes, 5-8% para endulzantes y del 0.5 al 3.0% para saborizantes (Bernat, et al., 2014).

Las bebidas vegetales suelen sedimentar debido a que contienen partículas insolubles como proteínas, almidón y fibra provocando que la solución muestre dos fases y por lo tanto sea poco estable, este atributo se puede incrementar mediante la reducción del tamaño de partícula o mediante el uso de hidrocoloides y emulsificantes. Muchas bebidas vegetales coagulan por tratamientos térmicos debido al desdoblamiento de proteínas que resulta de la exposición de aminoácidos no polares con agua, lo que aumenta la interacción proteína-proteína, resultando en una agregación y consecuente sedimentación, este representa un problema muy común al momento de formular bebidas vegetales. En el caso de las bebidas de soya y cacahuete es común emplear mono y diglicéridos, gliceril monoesterato, goma guar y carragenina (Yadav, et al., 2017).

Aunque la bebida vegetal asemeje en consistencia y apariencia a la leche de vaca difiere significativamente en la calidad nutrimental como en los nutrimentos biodisponibles. De ahí la fortificación de este tipo de productos para asegurar la calidad nutrimental. Los nutrimentos empleados pueden ser biodisponibles, suficientemente estables y no causan cambios excesivos en la calidad del producto. El problema en el enriquecimiento con minerales es la reactividad de los iones metálicos con componentes del alimento por lo que el uso de agentes secuestradores como ácido cítrico pueden llegar a ser necesarios. Algunas fuentes de minerales usadas en bebidas vegetales incluyen al citrato de amonio férrico y pirofosfato férrico como fuente de hierro, fosfato tricálcico y carbonato de calcio como fuentes de calcio (Mäkinen, et al., 2016).

#### **1.3.1.5 Homogeneización.**

Cuando se obtiene una bebida con las propiedades deseadas, un proceso de homogeneización tiene que ser aplicado para asegurar una estabilización física a lo largo de la vida útil del producto. La presión a la

cual se hace la homogeneización está en un rango entre los 16 a los 30 MPa (Bernat, et al., 2014).

La homogeneización mejora la estabilidad de la bebida vegetal mediante la disminución del tamaño de partícula de los agregados de proteína y de las gotas de lípidos. Cuando se encuentran lípidos se forma una emulsión obteniendo un producto con una sensación más cremosa al momento de consumirla (Mäkinen, et al., 2016).

#### **1.3.1.6 Tratamiento térmico.**

Las bebidas vegetales comerciales son pasteurizadas para extender su vida de anaquel aunque los tratamientos térmicos pueden causar cambios en la estabilidad de las proteínas así como en el sabor, aroma y el color (Mäkinen, et al., 2016). El proceso de la pasteurización es la destrucción de las bacterias patógenas que tienen la capacidad de transmitir diversas enfermedades a los consumidores del producto. Actualmente un proceso de pasteurización aplica una temperatura de 72 a 75°C por un tiempo de 20 segundos, esta condición evita someter a los alimentos y bebidas a condiciones de temperatura tales que disminuyen su calidad nutrimental y sensorial (González, 2007).

Es común aplicar tratamientos UHT (Ultra High Temperature) en donde el producto se calienta a los 135-150°C por unos segundos para obtener una bebida estéril (Mäkinen, et al., 2016). Para el caso especial de las bebidas de soya y de otras leguminosas, las bebidas se suelen calentar con otro objetivo, el cual es la inactivación de enzimas como la lipooxigenasa y los inhibidores de tripsina los cuales pueden causar problemas digestivos. Se puede usar la inyección o infusión de vapor para aumentar la temperatura a 121°C o más. Esta operación unitaria puede causar una desnaturalización de las proteínas, pardeamiento del producto por la producción de reacciones de Maillard y sabores a cocido, más tarde la bebida puede entrar a un tanque de vacío para hacer una deodorización, la caída en la presión (desde los 2 a los 0.6 bar) y la temperatura (desde los 121 a los 80°C) facilitan la remoción de los sabores desagradables (Preece, et al., 2017).

Una efectiva pasteurización se suele lograrse mediante la aplicación de una correcta combinación entre tiempo de mantenimiento y temperatura, cuando mayor sea la temperatura del tratamiento, menor tiempo se necesitara para conseguir los objetivos, sin embargo un calentamiento fuerte produce cambios en el sabor y en el valor nutritivo. Es por esto que la elección tiempo/temperatura debe de ser optimizada para conseguir un efecto adecuado tanto desde el punto de vista microbiológico como desde el punto de vista de la calidad (González, 2007). Después de tener un producto con una calidad microbiana aceptable se puede envasar o someter a un proceso de fermentación lo cual puede resultar en una reducción de los factores anti-nutricionales como el ácido fólico, ureasa, ácido oxálico y factores de flatulencia, por otro lado, la este proceso mejora las propiedades biofuncionales debido al incremento de isoflavonas y péptidos libres (Sanjukta & Kumar, 2016)

#### **1.4 Bebidas fermentadas.**

##### **1.4.1 Definición.**

Los alimentos fermentados son el resultado de la transformación de un sustrato por la actividad metabólica de microorganismos, que en condiciones adecuadas, deriva en un alimento apto para el consumo humano que presenta características nutrimentales, sensoriales y en algunas ocasiones toxicológicas diferentes a las del sustrato inicial. En el proceso de elaboración de todos los alimentos fermentados intervienen microorganismos (Calvo-Carrillo & Mendoza-Martínez, 2012)

Existe una gran variedad de este tipo de alimentos en el mundo, algunos de ellos como la cerveza, el vino, el vinagre, los quesos y el pan han sido extensamente estudiados, se han aislado los microorganismos que producen los cambios deseados en sus materias primas y se consumen en cualquier parte del mundo (García-Garibay, et al., 2004)

Las fermentaciones naturales han desempeñado un papel vital en el desarrollo humano y constituyen probablemente la forma más antigua de conservación de alimentos. Aunque en muchos alimentos el crecimiento de microorganismos conduce a la alteración, algunas fermentaciones son muy deseables ya que

resultan en sabores y aromas agradables. Actualmente hay métodos de conservación de alimentos mejores que la fermentación. En las sociedades tecnológicamente avanzadas, la mayor importancia de los alimentos fermentados radica en la variedad que aporta a la dieta (Potter, 2016)

Los métodos tradicionales de producción de estos alimentos son sencillos, baratos, no requieren equipo complicado y utilizan materias primas disponibles y de bajo costo. Por medio de estos procedimientos se pueden convertir materiales desagradables al gusto en alimentos atractivos, proporcionando sabor y variedad a la dieta (García-Garibay, et al., 2004).

Esta práctica consiste en la modificación de la estructura de las materias primas como frutas, cereales, vegetales o carnes, entre otras, mediante la acción de diversos microorganismos que, a través de reacciones metabólicas, principalmente de los azúcares de estos alimentos, permiten la formación de ácidos orgánicos como: acético, láctico, butírico y propiónico, y de algunos alcoholes como el etanol, así como la liberación de algunos aminoácidos (Wacher-Rodarte, 2014)

Calvo-Carrillo y Mendoza-Martínez (2012) señalan que uno de los aspectos más importantes de los alimentos fermentados es que se mejoran las características organolépticas del sustrato como aroma, color y sabor; pero la fermentación presenta ventajas adicionales, como las siguientes:

- Aumento de la digestibilidad del sustrato
- Reducción del tiempo de cocción
- Inhibición del desarrollo de microorganismos patógenos y de algunas toxinas
- Eliminación de sabores y texturas que pueden ser desagradables.
- Es un método barato para mantener en buen estado y apto para el consumo humano el alimento.
- El alimento puede ser una mejor fuente de proteínas, calorías y ciertas vitaminas que el sustrato.
- Mejora la digestibilidad de las leguminosas para seres humanos, así como la calidad del producto ya que la fermentación tiene la capacidad

de reducir a la rafinosa y estaquiosa que causan flatulencias y distensión abdominal.

- Disminución de los niveles de fitatos y polifenoles en las leguminosas, aumentando la biodisponibilidad de minerales y almidón.

Muchas comunidades alrededor del mundo producen productos fermentados a base de cereales, similares a las bebidas vegetales, en pequeña y gran escala mediante el uso de diferentes cereales como arroz, trigo, maíz o sorgo. Levaduras, hongos y bacterias están involucradas en la fermentación, de manera aislada o en mezclas de microorganismos trabajando de manera paralela o con cambios en la microbiota dominante (Jeske, et al., 2018).

Distintas especies de bacterias ácido lácticas (BAL) y algunas levaduras que se espera que sean seleccionadas para el bioprocesamiento de alimentos tienen que ser clasificadas como GRAS (Generally Recognized as Safe) basándose en las evaluaciones hechas por la FDA (Food and Drug Administration) y el consumo de estos no debe causar ningún daño (Ogunremi, et al., 2017)

La fermentación de bebidas vegetales con bacterias ácido lácticas aumenta las propiedades nutrimentales y sensoriales, estas bebidas pueden ser producidas para crear alternativas a los yogurts de leche de vaca mientras se transforma la materia prima vegetal en un producto más agradable al consumidor (Mäkinen, et al., 2016)

Durante este proceso, los compuestos orgánicos complejos son disminuidos en pequeñas moléculas por los microorganismos. Por ejemplo, la fermentación de soya con diferentes microorganismos realza las propiedades biofuncionales aunado al incremento de isoflavonas y péptidos, resultando en una reducción de factores antinutricionales como inhibidores de proteasa, ácido fítico, ureasa y ácido oxálico (Sanjukta & Kumar, 2016).

Los alimentos fermentados contienen una mezcla compleja de carbohidratos, proteínas, grasas y otros compuestos, que sufren modificaciones simultáneas o secuenciales bajo la acción de diversos microorganismos y enzimas. Las reacciones que involucran a carbohidratos y productos similares se denominan fermentativas; las que involucran a los compuestos protéicos se denominan

proteolíticas o putrefactivas debido a que producen aromas y sabores desagradables; y las que involucran a las grasas, lipolíticas. Los alimentos complejos que fermentan en condiciones naturales sufren invariablemente en mayor o menor grado cada uno de estos cambios y el predominio de los productos fermentativos finales dependerá de la naturaleza del alimento, de los tipos de microorganismos presentes y de las condiciones ambientales que afectan a su crecimiento y patrones metabólicos (Potter, 2016).

#### **1.4.2 Procesamiento.**

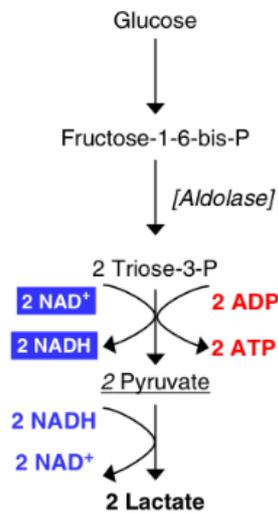
El procesamiento industrial usado para el desarrollo de productos vegetales fermentados se basa en cuatro pasos generales: el procedimiento para obtener la bebida vegetal (descrito en la sección anterior), acondicionamiento de la bebida hasta alcanzar una temperatura de crecimiento óptima para el cultivo iniciador, los procesos de inoculación e incubación (fermentación) y refrigerado a 4°C. Sin embargo, dependiendo de la materia prima, el tipo de cultivos iniciadores empleados y las características del producto final, el proceso general puede diferir (Bernat, et al., 2014).

Con el fin de producir productos fermentados, los cultivos iniciadores deben de ser capaces de crecer y dominar la microbiota en el medio vegetal, para así producir una textura deseada. Las bacterias ácido lácticas (BAL) han sido empleadas para fermentaciones en bebidas de cereales y pseudocereales (Mäkinen, et al., 2016).

Las BAL empleadas en la fermentación de bebidas incluye a dos grupos de bacterias Gram positivas, catalasa negativos, bacilos o cocos no formadores de esporas, usualmente no móviles que fermentan carbohidratos y forman ácido láctico como producto mayoritario. De acuerdo a las vías por las cuales se metabolizan las hexosas se dividen en dos grupos: homofermentativas y heterofermentativas. Las bacterias homofermentativas producen ácido láctico como el mayor o único producto de la fermentación. Las bacterias heterofermentativas producen cantidades equimolares de lactato, CO<sub>2</sub> y etanol a partir de la glucosa (Blandino, et al., 2003)

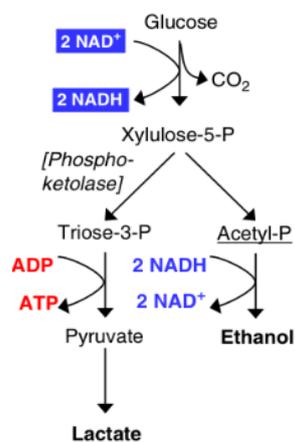
En el grupo de las bacterias ácido lácticas homofermentativas se encuentran las especies *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus* y

algunos *Lactobacillus*, estos microorganismos usan la ruta Embden-Meyerhoff-Parnas para convertir un mol de glucosa en dos moles de ácido láctico debido a que poseen la enzima aldolasa (Almanza & Barrera, 1996)



**Figura 3.** Metabolismo homofermentativo de las hexosas vía Embden-Meyerhoff Parnas (Gänzle, 2015)

Por otro lado, en el grupo de las bacterias heterofermentativas se encuentran las del género *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Weisella*, *Carnobacterium*, *Lactosphaera* y algunos *Lactobacillus*, este tipo de bacterias fermentan un mol de glucosa para formar un mol de ácido láctico, un mol de etanol y un mol de dióxido de carbono. Este tipo de bacterias contienen la enzima fosfoacetolasa pero carece de la aldolasa y hexosa isomerasa por lo que usa la vía de la hexosa monofosfato o la de la pentosa (Parra-Huertas, 2010)



**Figura 4** Metabolismo heterofermentativo de las hexosas vía fosfoacetolasa (Gänzle, 2015)

Existe una mayor conciencia de que algunos cultivos iniciadores pueden liberar compuestos no-nutritivos en los alimentos fermentados, lo que puede conferir a estos la capacidad de mejorar la salud y el bienestar de los consumidores. Estos compuestos bioactivos son componentes de las células microbianas, metabolitos o productos modificados de los componentes de la materia prima (Ogunremi, et al., 2017).

Se ha encontrado que en cierto grado, las BAL pueden llegar a modificar y alterar las proteínas contenidas en los alimentos fermentados, estas modificaciones llegan a ser de interés debido a que pueden ejercer cierto efecto biofuncional. Durante la fermentación, el contenido de péptidos se puede incrementar mediante la acción de enzimas proteolíticas producidas por los microorganismos y/o por la adición de enzimas exógenas produciendo péptidos bioactivos, que son cadenas de 2 a 20 aminoácidos, estas moléculas producen cierta actividad dependiendo de la longitud de su cadena, composición y secuencia de sus aminoácidos. Los péptidos bioactivos en alimentos fermentados han sido estudiados por varias propiedades terapéuticas como antioxidantes, antihipertensivos, antitumorales, antidiabéticas y son conocidos por prevenir la aterosclerosis (Sanjukta & Kumar, 2016).

El sistema proteolítico de las BAL como *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus helveticus* y *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus* contiene proteinasas, con amplia especificidad para liberar una gran cantidad de oligopéptidos diferentes (4 a 8 aminoácidos). Las proteínas son degradadas en su forma más simple como oligopéptidos, di-péptidos y tri-péptidos los cuales son buenas fuentes de péptidos bioactivos (Yadav, et al., 2017).

La oxidación de biomoléculas toma lugar dentro del cuerpo humano debido a distintos procesos bioquímicos y conduce a la muerte celular y daños en los tejidos. Los radicales libres como superóxidos, peróxido de hidrógeno, radicales hidroxilo, hidroperóxidos lipídicos y radicales peroxilo causan muchos desórdenes como cáncer, diabetes, arterioesclerosis, artritis y distintos desórdenes neurodegenerativos. Los antioxidantes son moléculas que pueden capturar a los radicales libres dentro de sus estructuras y prevenir la oxidación. La mayoría de los estudios en soya fermentada muestran un incremento en los

polifenoles (isoflavonas, ácidos fenólicos y flavonoides) que son responsables de un incremento en las propiedades antioxidantes (Sanjukta & Kumar, 2016).

Varios aminoácidos como Tyr, Met, His, Lys, Phe, Ala, Gly, Leu, Trp y Val son generalmente aceptados como antioxidantes. La actividad antioxidante de los péptidos bioactivos se puede atribuir también a las propiedades de quelación de iones metálicos de los péptidos (Yadav, et al., 2017).

La capacidad antioxidante mostrada por diversos péptidos esta clasificada dentro de dos grupos dependiendo de la reacción química involucrada: métodos basados en la transferencia de átomos de hidrógeno (HAT por sus siglas en inglés) y métodos basados en la transferencia de electrones (ET). (Toldrá, et al., 2017)

Las reacciones oxidativas dentro del cuerpo humano durante la respiración puede producir radicales libres, así como los contaminantes del aire y los oxidantes de tabaco pueden ser absorbidos por la circulación sanguínea y ejercer efectos adversos, además de la radiación UV puede estimular la generación de una variedad de oxidantes que pueden causar un daño significativo como cáncer, enfisema, cirrosis, aterosclerosis y artritis. Las proteínas y los péptidos bioactivos pueden inhibir estos daños causados por la oxidación, incluso pueden inhibir la oxidación lipídica mediante distintas vías incluyendo la inactivación de especies reactivas de oxígeno, desactivando a los radicales libres, quelación de metales de transición, reducción de hidroperóxidos (Yadav, et al., 2017)

### **1.5 Análogos de queso**

A partir del procesamiento para la obtención de bebidas vegetales se suelen obtener dos productos a partir del filtrado el cual es el filtrado y el retenido, en secciones anteriores se ha descrito el tratamiento que se le da al filtrado en donde pasa por una pasteurización y si se desea, una fermentación. Por otro lado, el retenido del filtrado puede representar un porcentaje importante de materia insoluble que pasa a ser parte de la merma. Según (Shurtleff & Aoyagi, 2000), para el caso de la fabricación de bebidas de soya, este residuo puede tener una humedad y contenido de sólidos cercanos al 80% y 20% respectivamente, además de que puede llegar a pesar hasta 1.12 veces el

peso de la soya seca ocupada, este residuo. Este residuo, que tradicionalmente se le llama *Okara* es el remanente fibroso del frijol de soya, contiene carbohidratos insolubles y fibra dietética, además de proteína remanente y grasa. Cuando está cocido totalmente tiene un sabor suave y hace una excelente adición a panes y otros productos horneados, aunque también puede ser usado para la elaboración de sustitutos de productos cárnicos (Riaz, 2006). Por las razones anteriores se ha decidió estudiar la posibilidad de incorporar este residuo a la formulación de un análogo de queso, con el fin de disminuir el porcentaje de merma y darle un uso a este producto.

### **1.5.1 Definición**

Los análogos de queso son productos fabricados mediante la mezcla de varios aceites o grasas comestibles, proteínas, agua y otros ingredientes dentro de una mezcla uniforme homogénea con la ayuda de calor, cizalla mecánica y sales emulsionantes (Guinee, 2011)

Este tipo de productos, justo como los quesos tradicionales son emulsiones de aceite en agua, en donde la proteína funciona como emulsificante y prevee estructura dentro de una matriz gelatinosa similar a un queso natural (Jeske, et al., 2018)

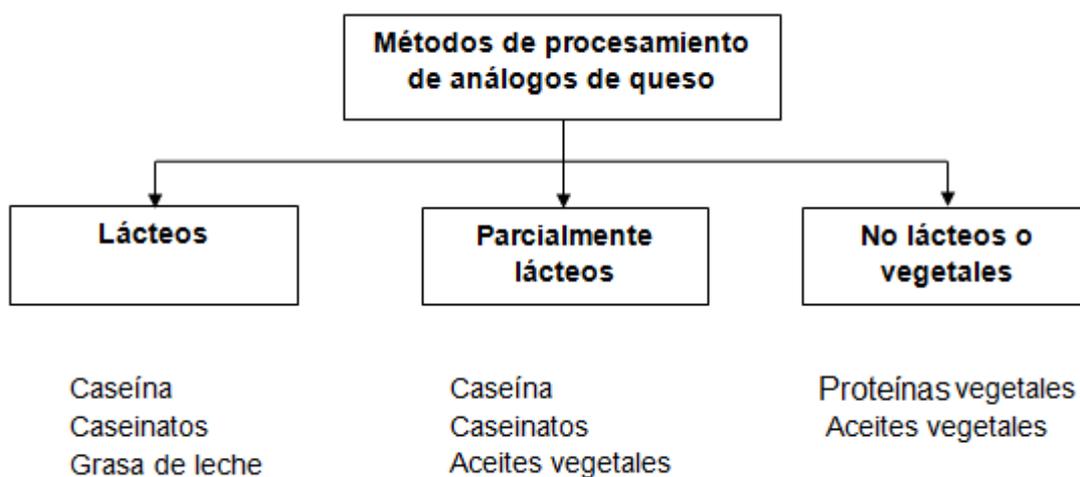
Los análogos de queso se utilizan cada vez más debido a su rentabilidad, atribuible a la simplicidad de su fabricación y al reemplazo de ingredientes lácteos seleccionados por productos vegetales más baratos (Bachmann, 2001)

En el mercado occidental, la mayoría de los análogos de queso contienen ingredientes lácteos como caseína o grasa butírica, y están suministrando productos baratos al mercado de bajo valor. Por otro lado, la exclusión de los ingredientes lácteos y la inclusión de ingredientes vegetales de alto valor sirve al mercado con productos alimenticios saludables y diversificados funcionales (Jeske, et al., 2018).

El éxito de los productos análogos de queso en los Estados Unidos se puede atribuir a una serie de factores: costo menor que los quesos naturales, ofrecen un rango de funcionalidad diverso por formulaciones hechas a la medida, la comida rápida y las comidas congeladas se han vuelto demasiado populares

además de que pueden ser diseñados para satisfacer necesidades dietéticas especiales a través de cambios de formulación (Fox, et al., 2000).

En la **Figura 5** se muestra una clasificación de estos productos basados en sus fuentes de proteína y aceite, pueden ser clasificados arbitrariamente como lácteos, parcialmente lácteos o no lácteos si los componentes de grasas y/o proteínas son el uso de proteínas lácteas y grasa de origen lácteo o vegetal. Los análogos lácteos son hechos mediante grasa de la leche, los parcialmente lácteos usando proteína láctea y aceite vegetal, y por último los no-lácteos usando aceite y proteína de origen vegetal (Bachmann, 2001).



**Figura 5.** Clasificación de análogos de queso basados en la fuente de proteínas y aceites usados en la formulación del producto (Bachmann, 2001).

### 1.5.2 Procesamiento

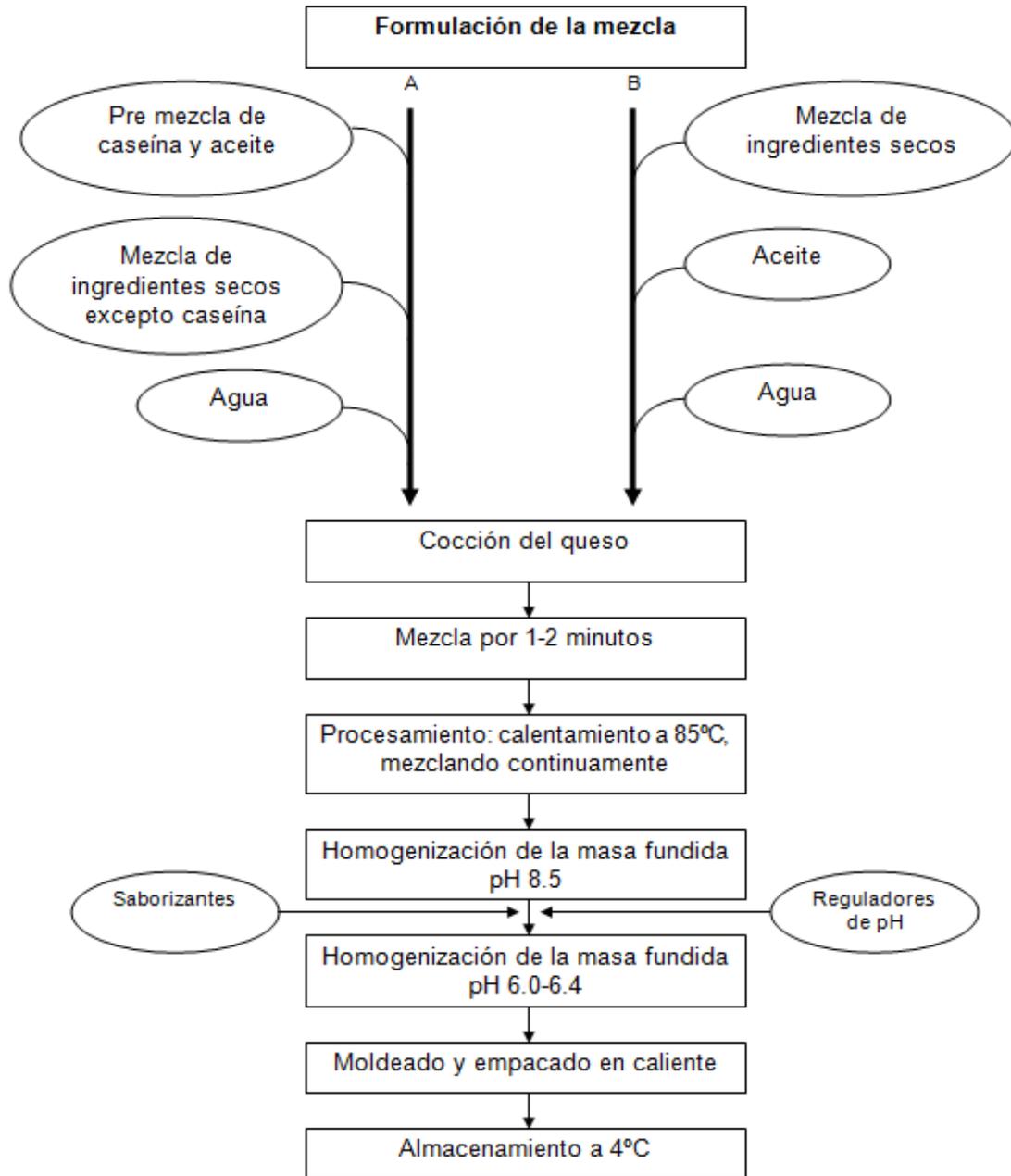
Para el caso de los quesos que se realizan a partir de leche, los pasos fundamentales para su elaboración incluyen la coagulación de la leche, el cortado de la cuajada, la eliminación del suero (desuerado), el salado, prensado y la maduración (si lo requiere) (Badui, 2006).

Según (Guinee, 2011), el procesamiento de quesos análogos es similar a los quesos elaborados de leche de vaca, este proceso incluye a los siguientes pasos:

- Formulación, decidiendo entre los diferentes tipos y niveles de ingredientes a ser ocupados.
- Mezcla de los ingredientes.
- Procesamiento de la mezcla (calentamiento y corte).

- Homogeneización de la mezcla fundida.
- Empacado en caliente y enfriamiento.

En la **Figura 6** se muestra un procesamiento típico para la fabricación de un análogo de queso Mozzarella.



**Figura 6.** Procesamiento típico para quesos análogos tipo mozzarella de baja humedad (Fox, et al., 2000).

### 1.5.3. Formulación

Los análogos de queso se caracterizan principalmente por su composición, humedad y consistencia las cuales se pueden manejar y controlar mediante el proceso y la formulación del producto, los ingredientes empleados para la elaboración de análogos de queso se resumen en la **Tabla 7**.

**Tabla 7.** Ingredientes usados para el procesamiento de análogos de queso (Fox, et al., 2000).

Tipo de ingrediente	Función/efecto principal	Ejemplos
Grasa	Proporciona las características deseadas de composición, textura y capacidad de fusión; la manteca imparte sabor lácteo	Manteca, grasa de leche anhidra, aceite de soya, maíz o palma nativo o parcialmente hidrogenado.
Proteínas lácteas	Proporcionan composición deseada, textura semidura con buena trituración, flujo y estiramiento. Ayuda a formar un producto fisicoquímicamente estable.	Caseína, caseinatos, proteína del suero*
Proteínas vegetales	Proporcionan composición deseada. Menor costo en comparación con la caseína.	Proteína de soya, cacahuate o gluten de trigo.
Almidón	Sustitución de caseína y reducción de costos.	Almidón nativo o modificado de maíz, arroz y/o papa.
Estabilizantes Emulsificantes	Ayudan a la formación de un producto fisicoquímicamente estable; ayudan a la textura y funcionalidad del producto.	Fosfatos y citratos de sodio.
Hidrocoloides	Mejora la estabilidad del producto, ayudan a la textura y funcionalidad del producto.	Goma guar, goma xantana, carragenina.

**Tabla 7 (continuación).** Ingredientes usados para el procesamiento de análogos de queso (Fox, et al., 2000)

Tipo de ingrediente	Función/efecto principal	Ejemplos
Agentes acidificantes	Ayuda al control del pH del producto final.	Ácidos orgánicos grado alimenticio, por ejemplo: láctico, acético, cítrico, fosfórico.
Saborizantes y potenciadores de sabor	Acentuar sabor	Quesos modificados enzimáticamente, extractos de humo.
Endulzantes	Añaden dulzor, especialmente en productos dirigidos para niños pequeños	Sacarosa, dextrosa, jarabe de maíz, lactosa hidrolizada.
Colorantes	Imparten color deseado.	Annato, paprika, colorantes artificiales, dióxido de titanio.
Conservadores	Retrasan el crecimiento de hongos, alargan la vida de anaquel.	Nisina, sorbato de potasio, propionato de sodio o calcio.
Mezclas de vitaminas y minerales	Aportan valor nutritivo	Óxido de magnesio, óxido de zinc, hierro, vitamina A, palmitatos, riboflavina, tiamina, ácido fólico.

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

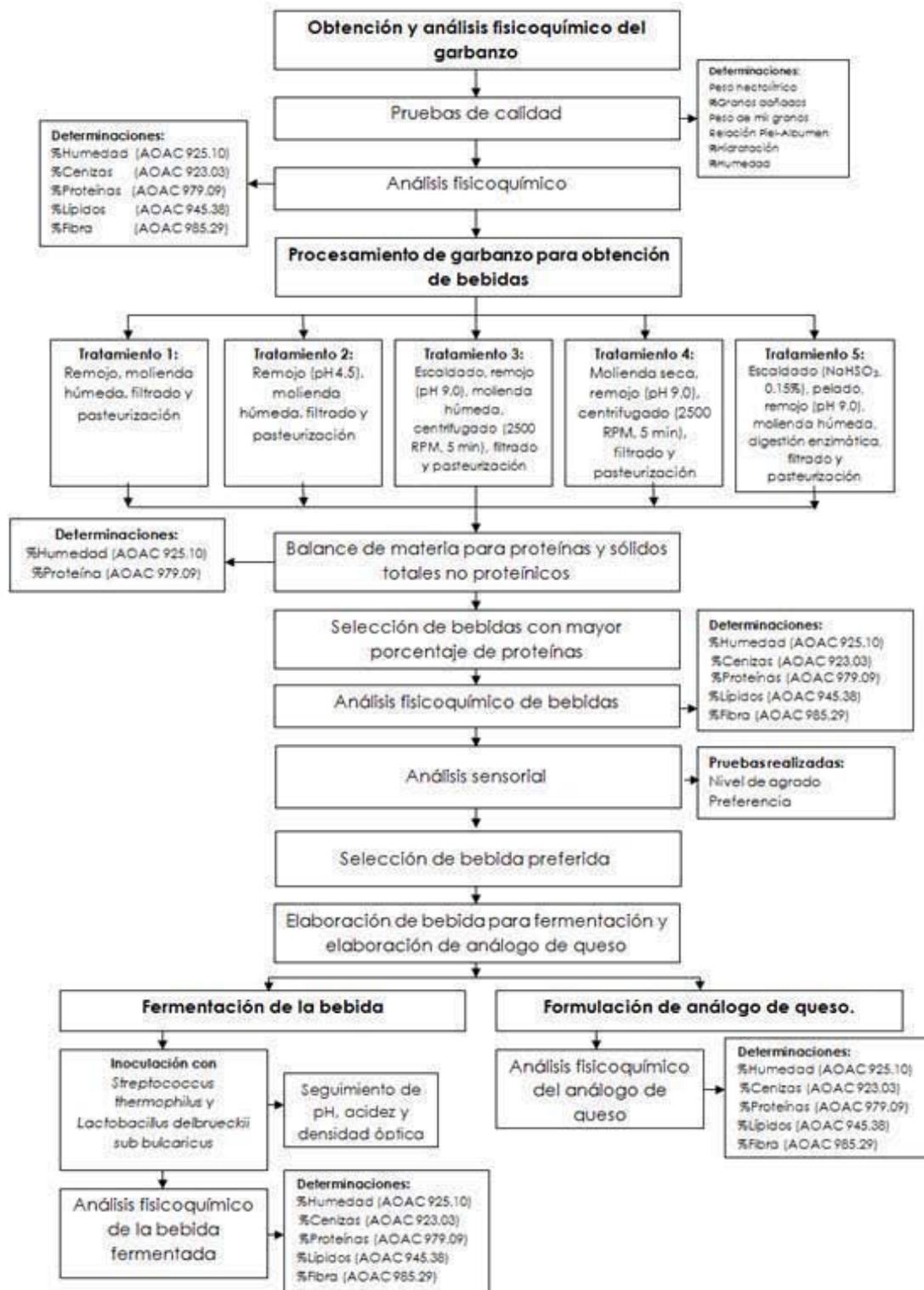


Figura 7. Metodología.

### 2.2 Obtención y análisis fisicoquímico del garbanzo

Para el desarrollo de este proyecto se comenzó con la obtención de la materia prima necesaria para realizar todas las determinaciones planteadas en la figura

7, dicha materia prima se adquirió en el mercado de San Lorenzo Tezonco en la Ciudad de México. Dichas semillas se transportaron al Laboratorio de Bromatología II dependiente del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina y Veterinaria y Zootecnia de la UNAM para ser homogeneizadas: se comenzó eliminando la materia extraña la cual consistía principalmente en granos de frijol y arroz, que debido al tipo de establecimiento en donde se adquirieron se pueden considerar normales y debido a este motivo no se reporta un porcentaje de materia prima extraña en los resultados.

### **2.3 Pruebas de calidad**

Posterior a la limpieza del grano se comenzaron con las determinaciones de calidad tomando como base las determinaciones y especificaciones descritas por el *CODEX ALIMENTARIUS*, la NMX-FF-089-SCFI-2008 y el artículo “Nuevas técnicas para determinar la calidad de legumbres” publicado por López-Bellido (1996).

Las determinaciones tomadas del *CODEX ALIMENTARIUS* fueron el contenido de humedad y el porcentaje de granos dañados, por otra parte se tomaron como referencias de la normatividad mexicana el peso hectolítrico (Kg/hL) y el porcentaje de granos dañados y por último las determinaciones basadas por el artículo de López-Bellido (1996) fueron la capacidad de hidratación y la relación piel-albúmen, dichos ensayos comenzaron con el peso de 50 gramos de garbanzo los cuales se sometieron a un remojo en agua destilada a temperatura ambiente por 16 horas, se decantó el agua del remojo y se pesaron los garbanzos hidratados haciendo una relación del peso final entre el peso al final obteniendo así el porcentaje de hidratación. Después se realizó un pelado manual de los garbanzos hidratados obteniendo dos fracciones las cuales son el endospermo y la cáscara, estas fracciones se homogeneizaron en un mortero y se transfirieron cuantitativamente a un pesafiltro a peso constante para secarlas en una estufa por 24 horas a 70 °C para pesar las dos fracciones y así determinar la relación piel-albúmen del garbanzo.

### **2.4 Análisis fisicoquímico del garbanzo.**

Posteriormente, se comenzó con la molienda del garbanzo la cual se efectuó en un procesador de alimentos hasta que se obtuviera un polvo el cual pudiera

atravesar totalmente por un tamiz de malla No. 20 logrando así un tamaño de partícula homogéneo.

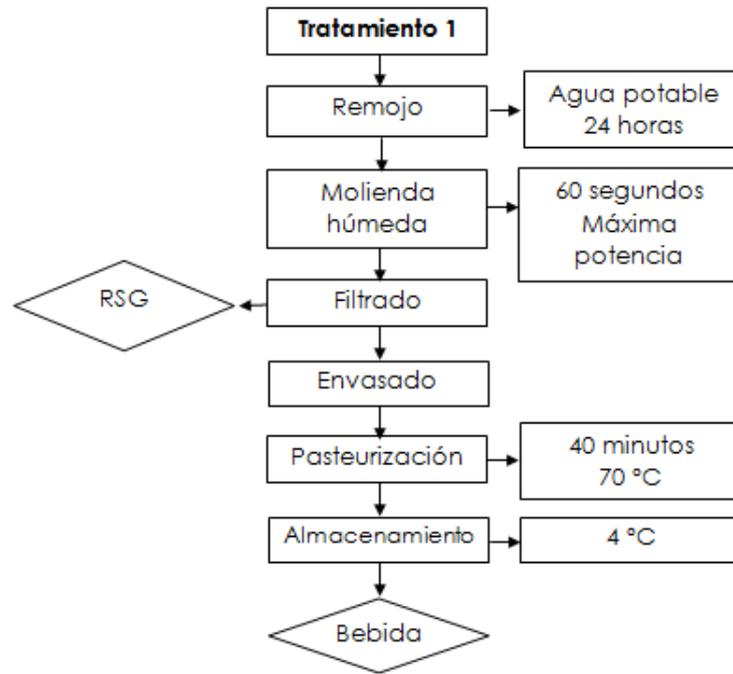
Se continuó con el análisis fisicoquímico del garbanzo molido realizando las siguientes determinaciones siguiendo los procedimientos descritos por la Association of Analytical Chemists (AOAC): humedad (AOAC 925.10), proteínas (AOAC 919.09), cenizas (AOAC 923.03), lípidos (AOAC 945.38) y fibra dietética (AOAC 985.29).

Al final se determinó el contenido de carbohidratos por diferencia restando del 100% el porcentaje de lípidos, cenizas, humedad, proteínas y humedad.

## **2.5 Procesamiento de garbanzo para obtención de la bebida**

### **2.5.1 Tratamiento 1**

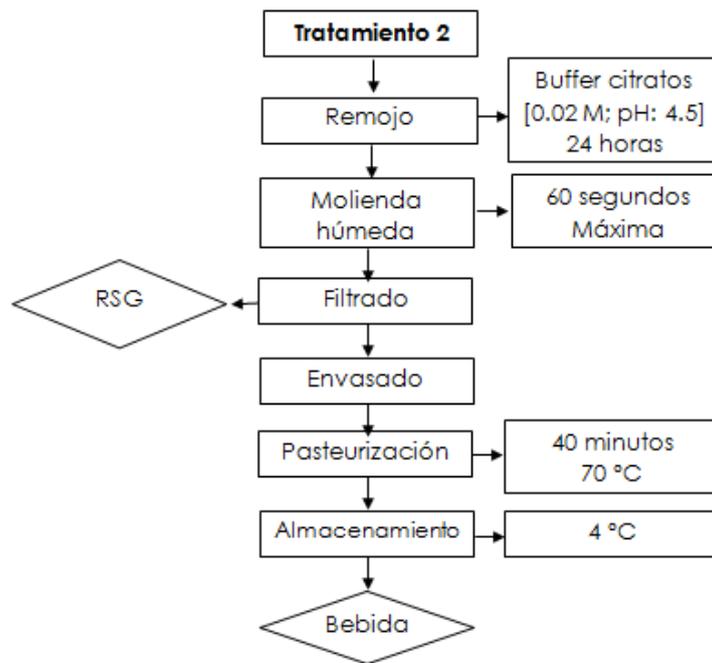
Para este tratamiento, se tomó como referencia el método publicado por Khee (1993) el cual consiste en una limpieza y selección de las semillas, las cuales se sometieron a un remojo en agua potable a temperatura ambiente por 24 horas, posteriormente se hizo una molienda húmeda en una licuadora convencional por 60 segundos a máxima potencia y se filtró con un colador obteniendo dos fracciones: un retenido y un permeado. A la fracción retenida se le trató de extraer la mayor parte de líquidos para obtener un mayor volumen de permeado aplicando presión en el colador para guardar en una bolsa y almacenarla en congelación para su posterior análisis. A la otra fracción que fue el permeado se le midió el volumen obtenido y se envasó en una botella de vidrio para someterla a un proceso de pasteurización 40 minutos a 70°C en un baño de agua, cumplido ese tiempo se dio un choque térmico en agua a una temperatura menor a los 10°C y se almacenó en refrigeración a 4°C hasta los análisis posteriores. Mediante este tratamiento se espera obtener un producto con un cuerpo y sabor demasiado acentuados, debido a que no se aplican procesos en donde el almidón se pueda eliminar o disminuir su tamaño de partícula ni en donde el pH (ácido o básico) pueda desestabilizar enzimas que puedan causar sabores desagradables, como la lipooxigenasa (LOX). El tratamiento 1 se esquematiza en la **Figura 8**.



**Figura 8.** Tratamiento 1 (Khee, 1993)

### 2.5.2 Tratamiento 2

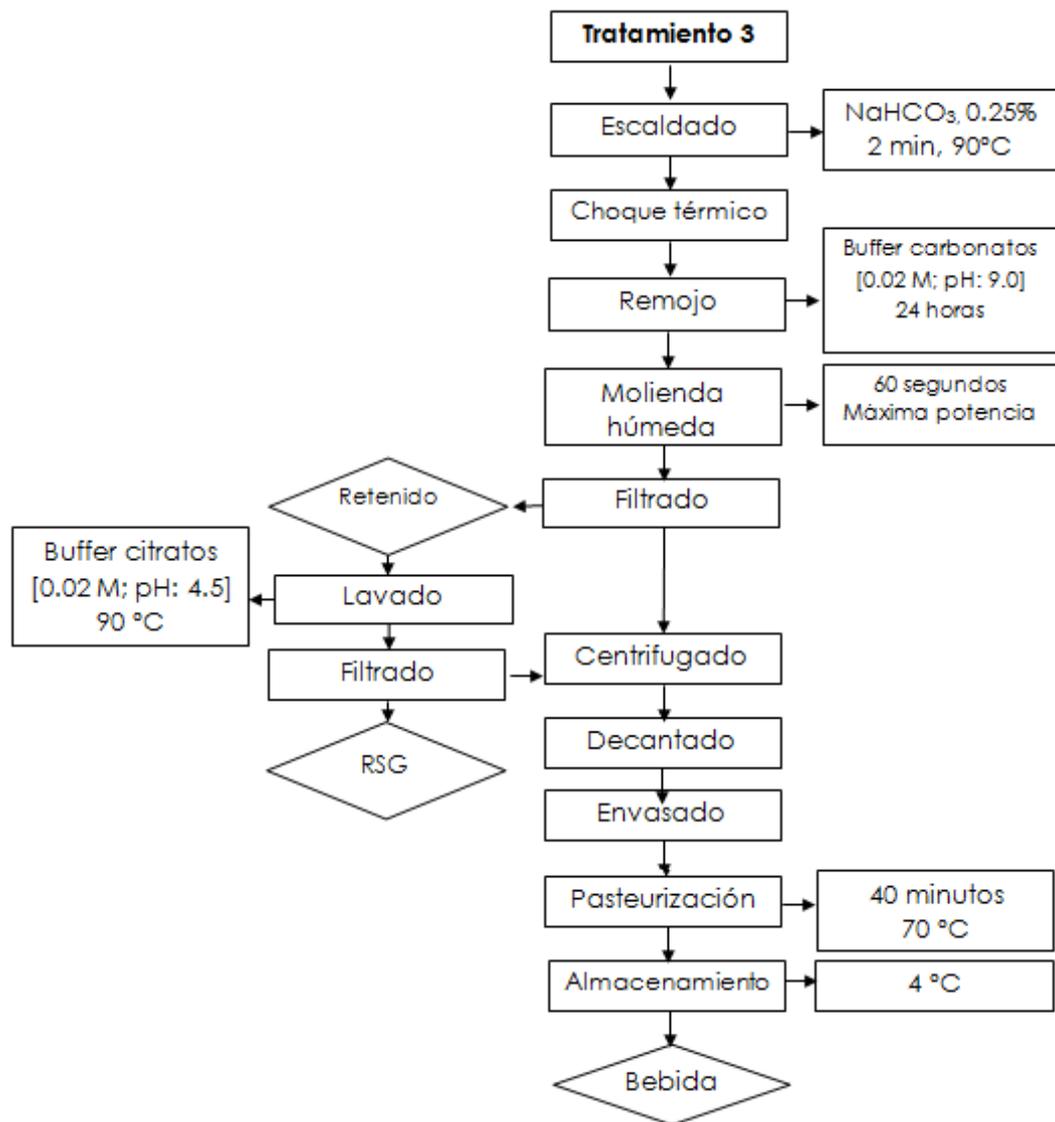
Se continuó con el método publicado por Khee en 1993 sólo que se tomó en cuenta el cambio propuesto por Pinthong, *et al.* (2007) el cual se realizó con un remojo ácido para eliminar por lixiviación la mayoría de los azúcares y enzimas responsables del sabor a cocido. El remojo se realizó en una solución buffer de citratos 0.2 M a pH 4.5, después se continuó con la molienda, filtrado, envasado, pasteurización y almacenamiento con las mismas condiciones que el tratamiento 1. Mediante este tratamiento se puede esperar el tener una bebida con un cuerpo demasiado acentuado pero un sabor menos marcado. En la **Figura 9** se esquematiza el tratamiento 2.



**Figura 9.** Tratamiento 2 (Pinthong, et al., 2007)

### 2.5.3 Tratamiento 3

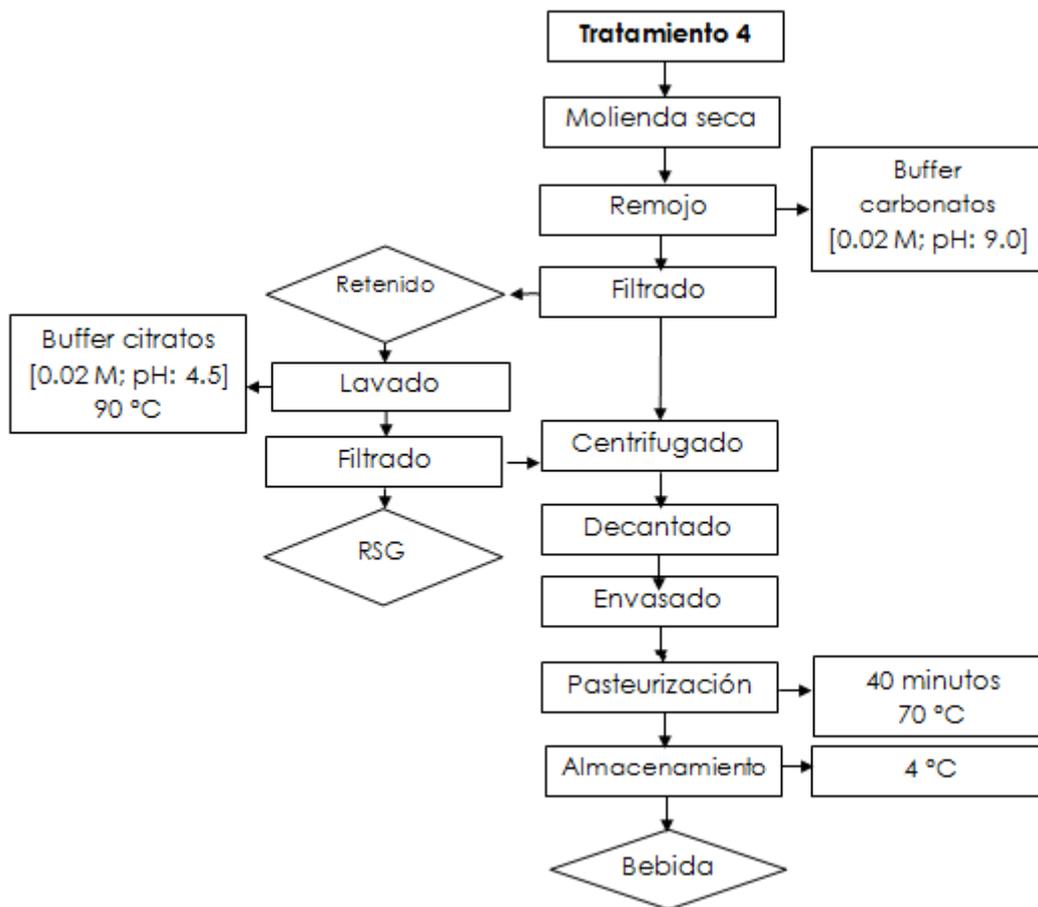
En este tratamiento se siguieron las mismas condiciones realizadas por Imram, *et al.* (2003) en donde se comienza con un escaldado de las semillas en una solución de  $\text{NaHCO}_3$  al 0.25% de por 2 minutos a  $95^\circ\text{C}$ , posteriormente se remojó por 24 horas en una solución buffer de carbonatos 0.2 M a pH 9.0, se continuó con una molienda húmeda en una licuadora por 60 segundos a máxima potencia, en seguida se filtró el licuado de garbanzo. El retenido se lavó con 50 mL de buffer de citratos 0.2 M, pH: 4.5 a  $90^\circ\text{C}$  para volver a filtrar y obtener nuevamente dos partes, al retenido se le trató de extraer la mayor cantidad de líquido mediante presión y se guardó para su posterior análisis. Los dos permeados obtenidos se homogeneizaron y se llevo a cabo una centrifugación a 5000 rpm por 5 minutos con el fin de separar la mayor cantidad de partículas gruesas e insolubles (como el almidón) en la bebida que al final se embotelló, pasteurizó y almacenó en las mismas condiciones que los 2 métodos anteriores. Sensorialmente se puede espera que esta bebida resulte con un sabor y cuerpo más agradable debido a los tratamientos de pH y centrifugación. El tratamiento 3 se muestra en un diagrama de flujo mostrado en la **Figura 10**.



**Figura 10.** Tratamiento 3

#### 2.5.4 Tratamiento 4

Para este tratamiento se decidió comenzar con la molienda seca del garbanzo con el fin de tener una mayor superficie de contacto con las proteínas solubles embebidas en el endospermo según las recomendaciones hechas por Imram, *et al.* (2013), se continuó con el mismo procedimiento explicado para el tratamiento 3 a partir del remojo en buffer de carbonatos. El tratamiento 4 se muestra esquematizado en la **Figura 11**.

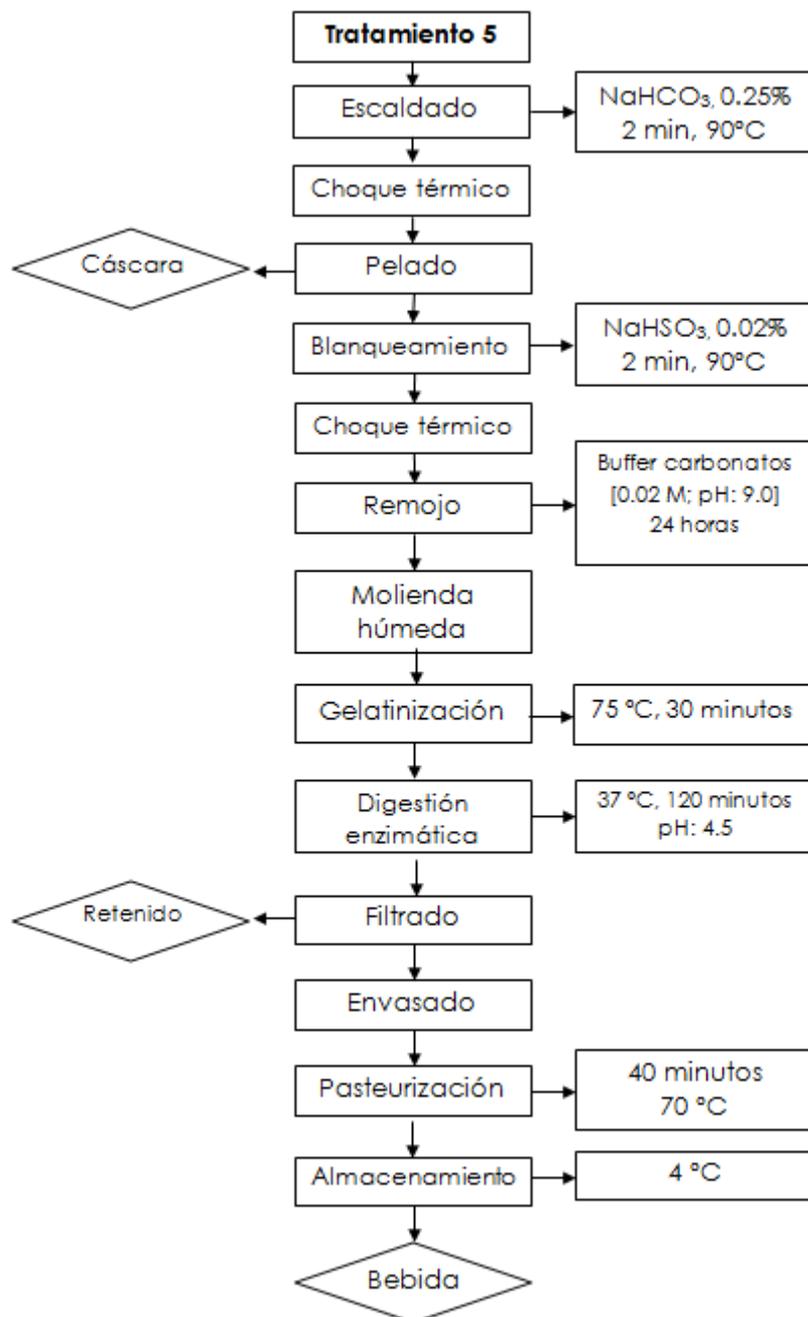


**Figura 11.** Tratamiento 4.

### 2.5.5 Tratamiento 5

Se hizo un escaldado de las semillas en una solución de  $\text{NaHCO}_3$  al 0.25% por 2 minutos a  $90^\circ\text{C}$ , en seguida se sometió a un choque térmico en agua fría con el fin de hacer más fácil el pelado de las semillas y así eliminar una parte de la materia insoluble del garbanzo. Después se realizó un blanqueamiento de las semillas en una solución al 0.02% de  $\text{NaHSO}_3$  por 2 minutos seguido de un choque térmico, este proceso tuvo el fin de inactivar enzimas causantes de sabores a cocidos en la bebida además de poder obtener una bebida con una coloración más blanquecina. A las semillas escaldadas, peladas y blanqueadas se remojaron en buffer de carbonatos 0.02M a pH 9.0 por 24 horas, cumplido este tiempo se licuaron en una licuadora a máxima potencia por 60 segundos, a la solución obtenida se le sometió a un proceso de gelatinización en un baño de agua a  $75^\circ\text{C}$  por 30 minutos, se ajustó el pH a 4.5 con gotas de ácido cítrico al 15% y se adicionó pancreatina al 0.02% en peso respecto a la solución para incubar en un baño de agua a  $37^\circ\text{C}$  por 120 minutos. Por último se filtró,

envaso, pasteurizó y se almacenó hasta el análisis de la bebida. El diagrama del tratamiento 5 se muestra en la **Figura 12**.



**Figura 12.** Tratamiento 5.

### 2.8 Balance de materia para proteínas y sólidos no proteínicos

Se realizó la determinación de humedad y porcentaje de proteínas por los métodos oficiales de la AOAC (AOAC 925.10 y AOAC 979.09 respectivamente) en el residuo y en la bebida obtenida por cada tratamiento con el fin de hacer un balance de materia para determinar que tratamiento era el que ofrecía una

mayor extracción de proteínas respecto a la cantidad inicial contenida en el garbanzo al inicio del procesamiento.

### **2.9 Análisis fisicoquímico de las bebidas vegetales.**

Después de conocer el contenido de proteínas extraídas en cada tratamiento, se seleccionaron a las bebidas que ofrecían una mayor cantidad y un perfil sensorial más agradable a simple vista para realizar un análisis químico proximal.

Para la determinación de un análisis fisicoquímico que cumpla con lo establecido por la NOM-051-SSA1-2010 y con la idea de ofrecer un producto con un sabor agradable se decidió endulzar a las 2 bebidas con un mayor porcentaje de proteínas extraído con azúcar refinada al 5% (m/v) y estabilizar con la adición de carragenina al 0.02% (m/v) y se elaboraron 500 mL de cada bebida vegetal de garbanzo.

Se comenzó con la determinación de humedad mediante un secado en estufa, adaptando el método AOAC 925.10, con el polvo deshidratado resultante se determinó el contenido de lípidos mediante el método AOAC 945.38, con el residuo deshidratado y desengrasado se realizó la determinación de fibra dietética por el método AOAC 985.29.

Respecto al porcentaje de cenizas, se determinó mediante el método AOAC 923.03. Las cenizas resultantes se suspendieron en una solución de HCl al 25% para determinar por medio de espectrometría de absorción atómica el contenido de sodio en cada muestra. El contenido de proteínas se determinó mediante el método AOAC 919.09

### **2.10 Evaluación sensorial. Pruebas de nivel de agrado y preferencia.**

El objetivo principal de la evaluación sensorial consistió en conocer si las bebidas eran aceptadas o rechazadas por el consumidor, en esta prueba los evaluadores utilizaron su propio criterio y gusto personal para juzgar a las bebidas vegetales de garbanzo con un mayor porcentaje de proteínas extraídas por distintos tratamientos. La prueba de nivel de agrado permitió identificar que tanto agradaba o disgustaba el color, aroma, sensación general en la boca y sabor de las muestras evaluadas. Con el análisis estadístico t de student se evaluaron diferencias estadísticamente

significativas entre dos bebidas vegetales. También se realizó una prueba de preferencia entre las dos muestras para determinar cuál era la preferida por los evaluadores.

Para la evaluación sensorial se decidió el endulzar a las 2 bebidas con un mayor contenido de proteínas extraídas con azúcar refinada al 5% (m/v) y estabilizadas con carragenina al 0.02% (m/v), se elaboraron 500 mL de cada bebida vegetal de garbanzo. El análisis sensorial se llevó a cabo el día 18 de abril del 2018 en el salón 4 C/D y en el laboratorio 4 A de la Facultad de Química de la UNAM, la población elegida fueron 100 estudiantes de la carrera de Química de Alimentos con edades entre los 20 a 24 años.

Para la evaluación se utilizó un cuestionario que se muestra en la **Figura 13** que incluyó una escala hedónica de 5 puntos, en la cual se pedía que se indicara el valor que mayor expresará el nivel de agrado de cada atributo sensorial en donde el 1 fue la calificación más baja y el 5 la calificación más alta. Por último se pidió que se tachara el código de la muestra que les haya gustado más.


Universidad Nacional Autónoma de México


**Facultad de Química**

**Evaluación sensorial de bebida a base de garbanzo**

**Sexo:** Masculino    Femenino    **Edad:**

**Fecha:**

Frente a usted tiene 2 muestras de bebida de garbanzo, indique que tanto le gusta de acuerdo a la siguiente escala y posteriormente indique con un tache (X) que muestra fue la que más le ha gustado.

**Muestra 891**

	(1) Me disgusta mucho	(2) Me disgusta poco	(3) Ni me gusta ni disgusta	(4) Me gusta poco	(5) Me gusta mucho
<b>Color</b>					
<b>Aroma</b>					
<b>Sensación general en la boca</b>					
<b>Sabor</b>					

**Muestra 512**

	(1) Me disgusta mucho	(2) Me disgusta poco	(3) Ni me gusta ni disgusta	(4) Me gusta poco	(5) Me gusta mucho
<b>Color</b>					
<b>Aroma</b>					
<b>Sensación general en la boca</b>					
<b>Sabor</b>					

La muestra que me gustó más fue:        891        512

!!!Muchas gracias!!!

**Figura 13.** Cuestionario aplicado a estudiantes de la Facultad de Química.

## **2.11 Elaboración de la bebida vegetal para fermentación y elaboración de análogo de queso.**

Para la continuación con el desarrollo de la bebida vegetal fermentada y con la elaboración del análogo de queso se seleccionó a la bebida con un mayor porcentaje de proteínas extraído y seleccionado por la población evaluadora con un porcentaje de mayor aceptación.

Para el caso de las pruebas para el desarrollo de la bebida vegetal fermentada se comenzó con la preparación de 500 mL de bebida por cada vez que se repetía el seguimiento del pH, acidez y crecimiento bacteriano. El residuo generado se almacenó en bolsas de plástico a una temperatura de -4°C hasta el día de su uso.

## **2.12 Fermentación de la bebida.**

### **2.12.1 Elaboración de bebida para fermentación.**

Para la fermentación de la bebida comenzó con el tratamiento de garbanzo para la obtención de 3 lotes de 500 mL de bebida vegetal a la cual se le agregó azúcar refinada al 5% (m/v) y carragenina al 0.02% (m/v). Cada lote de bebida vegetal se separó en dos partes de 250 mL en matraces Erlenmeyer de 400 mL. A los lotes 1 y 2 se les aplicaron distintos tratamientos térmicos para evaluar si existía alguna diferencia entre cada tratamiento aplicado, al primer lote se le aplicó una pasteurización a 70 °C por 40 minutos y al segundo de una esterilización en autoclave a 121°C por 15 minutos a una presión de 15 libras. Al tercer lote se le agregó inulina al 1% m/v para favorecer el crecimiento de las bacterias inoculadas.

Después del tratamiento térmico se almacenó en refrigeración hasta el día de su uso tanto para las distintas pruebas de fermentación como para su análisis fisicoquímico.

Los residuos obtenidos por cada tratamiento se guardaron en bolsas de plástico a una temperatura de -4°C hasta su uso para la formulación de un análogo de queso a partir de este material.

### **2.12.2 Fermentación**

Para comenzar con el proceso de fermentación se empezó con la inoculación de la bebida con bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus*

*delbrueckii sub. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*) dentro de una campana de flujo laminar para evitar la contaminación tanto de las bebidas como de los medios de cultivos.

Se comenzó la fermentación con el acondicionamiento de las bebidas tomando 100 mL de bebida estéril y 100 mL de bebida pasteurizada depositando en un matraz erlenmeyer estéril de 250 mL, la bebida se dejó en reposo en una incubadora a 42°C por 30 minutos.

A continuación se inoculó a la bebida con  $1 \times 10^8$  UFC de un cultivo liofilizado de bacterias ácido-lácticas las cuales contenían una mezcla de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii sub. bulgaricus* en relación [1:1]. A partir de la inoculación y acondicionamiento de las bebidas se empezó con la toma de muestras para las determinaciones de pH, acidez y cuenta en placa.

Para el caso del pH y acidez se tomaron 0.5 mL de muestra los cuales se aforaron a 50 mL con agua destilada, posteriormente se tomaron 3 alícuotas de 10 mL para titular con una solución valorada de NaOH [0.01M] usando fenolftaleína como indicador visual, reportando los resultados obtenidos como porcentaje de ácido láctico (m/v). Al sobrante de la muestra se le determinó el valor de pH mediante el uso de un potenciómetro. Las mediciones se realizaron cada 60 minutos hasta que se alcanzara una acidez mínima del 0.5% y un pH menor al 4.5. Este seguimiento se llevo a cabo por alrededor de 8 horas.

Para el caso de la cuenta en placa en cada toma de muestra se tomó 1 mL de bebida, la cual se añadió a un tubo con 9 mL de solución salina isotónica estéril, se homogeneizó con agitación suave y se realizaron 6 diluciones decimales sucesivas. De las diluciones sucesivas 5 y 6 se tomó 1 mL y se inoculó a un medio de cultivo con agar APT el cual se extendió con una varilla de vidrio en L estéril. Las cajas inoculadas se guardaron invertidas en una incubadora a 42 °C por 48 horas y se realizó la cuenta en placa tomando como significativas a las cajas con una cuenta de colonias menor a 250.

### 2.13 Formulación de un análogo de queso

Haciendo uso de los residuos resultantes del filtrado de la bebida vegetal para la fermentación se decidió hacer uso de estos para el desarrollo de un análogo de queso. Tomando como base el balance de materia para la bebida vegetal seleccionada para la fermentación se trato de igualar la formulación propuesta por Guinee, (2011) para la elaboración de un queso análogo de baja humedad, la cual se muestra en la **Tabla 8**:

**Tabla 8** Formulación típica (%) de un queso con baja humedad (**Guinee, 2011**)

Ingrediente	Cantidad ( m/m)
Caseína y caseinatos	24.00
Aceite vegetal	22.00
Almidón	3.00
Emulsificantes	2.00
Saborizantes y potenciadores de sabor	3.00
Estabilizantes	0.50
Agentes acidificantes	0.36
Colorantes	0.04
Conservadores	0.10
Agua	45.00

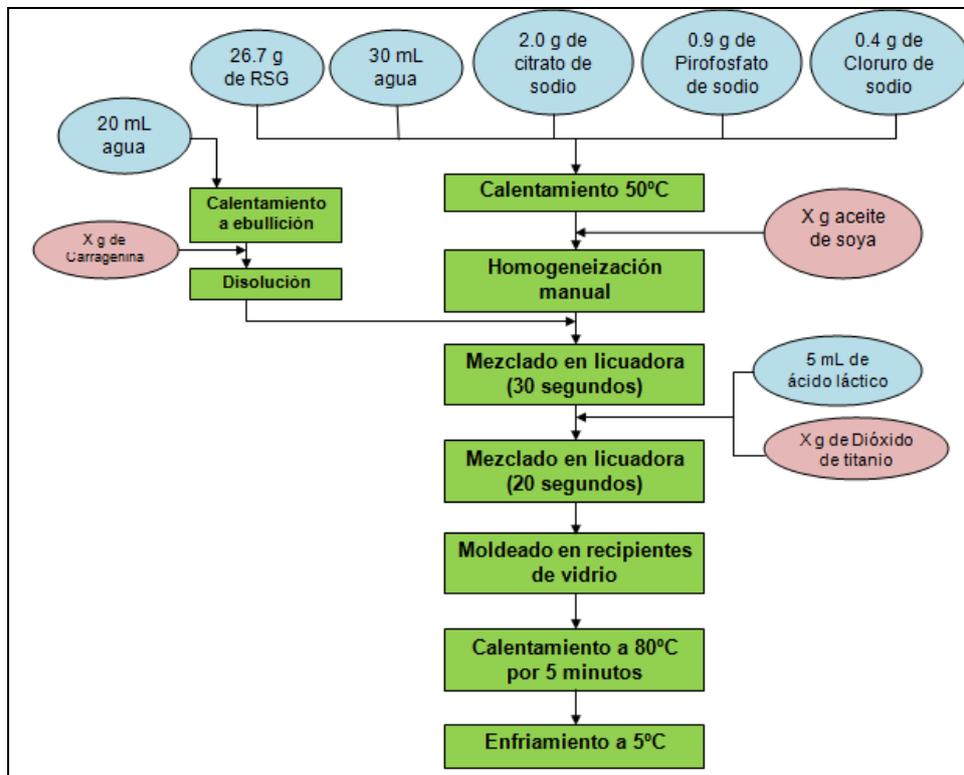
Para la elaboración de los análogos de quesos se utilizaron los siguientes ingredientes: residuo sólido de garbanzo (RSG), aceite de soya, citrato y pirofosfato como agentes reguladores de la acidez, carragenina como agente gelificante, ácido láctico como acidulante, dióxido de titanio como colorante y cloruro de sodio como saborizante; todos los aditivos empleados fueron de grado alimenticio.

Se realizaron dos formulaciones de análogo de queso en donde se dejaron fijas las cantidades a usar de RSG, citrato, pirofosfato, cloruro de sodio y ácido láctico. Las formulaciones realizadas se muestran En la **Tabla 9**.

**Tabla 9** Formulaciones para la elaboración de dos análogos de queso a partir de garbanzo

Ingrediente	Formulación 1	Formulación 2
RSG	26.7 g	26.7 g
Agua	50 mL	50 mL
Citrato de sodio	2.0 g	2.0 g
Pirofosfato de sodio	0.9 g	0.9 g
Cloruro de sodio	0.4 g	0.4 g
Aceite de soya	10.0 g	7.5 g
Carragenina	0.8 g	1.0 g
Ácido láctico	5 mL	5 mL
Dióxido de titanio	0.5 g	0.25 g

Para la elaboración del análogo de queso se siguió el procedimiento publicado por Monroy, (2016) para la elaboración de un análogo de queso con proteínas exclusivas del lactosuero, el cual se muestra en la **Figura 14**:



**Figura 14.** Procedimiento para la elaboración de un análogo de queso a base de garbanzo Modificado de (Monroy-Galván, 2016).

### **2.14 Análisis fisicoquímico.**

Se comenzó con la determinación de humedad mediante un secado en estufa, adaptando el método AOAC 925.10, y con la bebida deshidratada resultante se determinó el contenido de lípidos mediante el método AOAC 945.38, con el polvo seco y desengrasado se realizó la determinación de fibra dietética por el método AOAC 985.29

Respecto al porcentaje de cenizas, se determinó mediante el método AOAC 923.03. Las cenizas resultantes se suspendieron en una solución de HCl al 25% para determinar por medio de espectrometría de absorción atómica el contenido de sodio en cada muestra. El contenido de proteínas se determinó mediante el método AOAC 919.09.

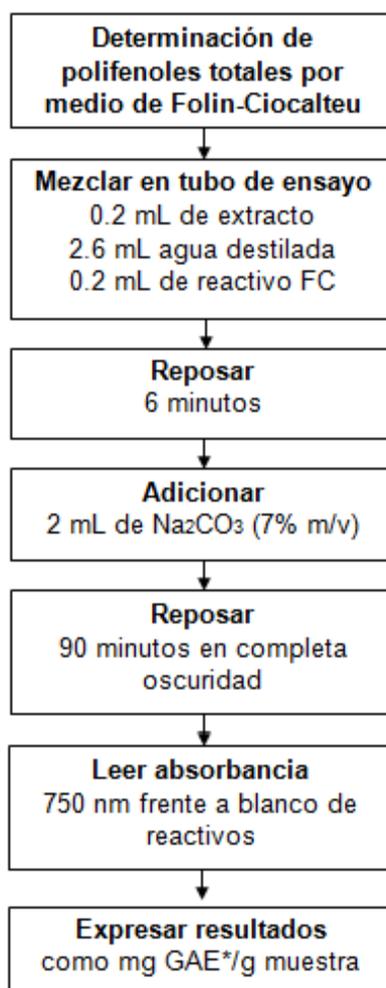
### **2.15 Poder antioxidante.**

Con el fin de evaluar los cambios respecto a las propiedades funcionales entre la materia prima y los productos desarrollados se decidió evaluar el poder antioxidante mediante el método de Folin-Ciocalteu. Se comenzó con un extracto metanólico el cual se preparó mediante el remojo de 10 gramos de garbanzo molido y seco en 100 mL de metanol en un matraz erlenmeyer de 250 mL, la mezcla anterior se dejó en un baño sónico por 30 minutos, pasado éste tiempo se filtró el extracto y se evaporó el exceso de metanol para aforar a 10 mL. La solución se guardó en congelación hasta el momento de su uso.

#### **2.15.1 Método de Folin-Ciocalteu.**

El ensayo de Folin-Ciocalteu es empleado para el análisis de compuestos polifenólicos en distintos tipos de extractos vegetales. El reactivo principal del ensayo consiste en una mezcla de ácidos fosfomolibdico y fosfotúngstico de color amarillo comúnmente denominado "Reactivo de Folin-Ciocalteu". La reacción se lleva a cabo en condiciones básicas (pH 10), con la finalidad de que se genere un ión fenolato que reduce al FC mediante una reacción de tipo óxido/reducción y general la formación de un complejo de Mo(V) que presenta una coloración azul cuya absorbancia se mide a una longitud de onda de 765nm (Muñoz-Bernal, et al., 2017)

Se siguió el procedimiento publicado por Wooki, *et al.* (2018) para la determinación de polifenoles totales por medio de la reacción de Folin-Ciocalteu y que se muestra en la **Figura 15**.



**Figura 15.** Método para la determinación de polifenoles por medio del método de Folin-Ciocalteu (Modificado de (Wooki, *et al.*, 2018)).

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1 Garbanzo

#### 3.1.1 Pruebas de calidad.

Los resultados obtenidos para las pruebas fisicoquímicas realizadas al garbanzo para determinar su calidad se muestran en la **Tabla 10**:

**Tabla 10.** Determinaciones de calidad realizadas al garbanzo y su comparación con los valores reportados por la FAO (2007), López-Bellido (1996)

Determinación	Resultado*	Valor de referencia
Humedad (%)	6.14	14.0 – 16.0
Granos dañados (%)	3.45	Máx. 3.0
Peso de mil granos (g)	713.39	340.0 – 350.0
Peso hectolítrico (kg/hL)	78.61	60.0 – 65.0
Capacidad de hidratación (%)	219.35	120.0 – 125.0
Relación piel albumen	4.54	5.0

\*Los valores corresponden al promedio de triplicados con un CV<5%

La NMX-089-SCFI-2008 que dicta las especificaciones de calidad para la soya indica que entre mayor sea el peso hectolítrico de los granos mayor será la calidad de éstos, debido a que se puede descartar un daño causado por insectos, los cuales perforan las semillas haciendo que disminuya el peso manteniendo un volumen constante. El peso hectolítrico determinado experimentalmente fue de 78.61 kg/hL, comparado con lo publicado por López (1996) se puede afirmar que esta variedad de garbanzo es de un tamaño menor, con una mayor densidad y un descarte total de daño causado por fauna nociva.

El resultado obtenido para la determinación de granos dañados fue de 3.45% que en comparación con lo establecido por la FAO (2007) es un valor que excede el límite permitido, esto se puede justificar por una gran manipulación debido al tipo de negocio en donde se adquirió la materia prima, ya que al manejar una venta al menudeo el producto sufre daños debido a la manipulación de los vendedores.

Respecto al peso de mil granos, López-Bellido (1996) indica que estos valores pueden variar de acuerdo con las distintas variedades de garbanzo, la calidad

de grano y las condiciones agroclimáticas ocurridas durante su producción relacionando estos valores únicamente con el tamaño del grano. El valor obtenido experimentalmente para la materia prima fue de 713.39g, aunque el autor reporta valores entre los 340 a 350g para variedades españolas por lo que sólo se puede decir que el tamaño de estas semillas es bajo en comparación con las variedades españolas de garbanzo.

El contenido de humedad obtenido en este lote de garbanzo fue de 6.14% lo cual es un valor demasiado bajo según lo reportado por la FAO, se puede pensar que el garbanzo estuvo almacenado en condiciones de baja humedad y altas temperaturas que pudieron ser debido a una exposición directa al sol.

Para la determinación del porcentaje de hidratación, se determinó un valor de 219.35%, este valor resultó ser mayor en comparación con lo reportado por López-Bellido (1996) ya que reporta valores que van del 120 al 125%. En el caso del valor determinado experimentalmente se puede justificar debido a la baja humedad en las semillas además de que se puede pensar que la proteína presente en el garbanzo presenta una mayor cantidad de polisacáridos hidrofílicos y aminoácidos polares que pueden ligar una mayor cantidad de agua.

Por último, se encontró una relación piel-albúmen del 4.535% la cual resulta ser un valor bajo respecto al peso total de la semilla ya que la cáscara representa una cantidad de materia insoluble la cual no aporta una cantidad significativa de proteínas.

### **3.1.2 Análisis fisicoquímico del garbanzo.**

En la **Tabla 11** se presentan valores teóricos y experimentales de la composición fisicoquímica del garbanzo. Los valores obtenidos se reportan como porcentajes en base seca para hacer una comparación con los reportados por Belitz, *et al.* (2012):

**Tabla 11.** Comparación del análisis fisicoquímico del garbanzo (g/100g de garbanzo) en base seca con los valores reportados por Belitz, *et al.* (2012)

Determinación	Promedio*	Belitz (2009)
Proteínas	17.79	22.7
Cenizas	3.30	3.0
Lípidos	7.52	5.0
Carbohidratos	71.50	54.6
Fibra Dietética	17.62	10.7

\*Los valores corresponden al promedio de triplicados con un CV<5%

Respecto al contenido de proteínas, se puede destacar que el resultado obtenido experimentalmente fue más bajo en comparación con lo reportado por Belitz, *et al.* (2012), este valor puede ser un problema al momento de formular a la bebida ya que para alcanzar la concentración deseada de proteínas solubles se tendrá que emplear una mayor cantidad de materia prima.

Respecto al contenido de cenizas, se determinó un mayor contenido respecto a la literatura, este valor está influenciado por las condiciones del suelo en donde se ha cultivado el garbanzo, por otro lado, el contenido de lípidos es mayor en cantidad este contenido representa un punto crítico de proceso, ya que la enzima lipooxigenasa que está presente en el garbanzo puede actuar y causar sabores desagradables en la bebida.

Por último, el contenido de carbohidratos que se determinó por diferencia fue el de mayor porcentaje, dentro de este porcentaje se encontró un contenido de fibra dietética del 17.62%, el cual es mayor en comparación con lo reportado por Belitz, *et al.* (2012), dicho elevado contenido de fibra dietética corresponde a las paredes celulares del garbanzo en los que se puede destacar a la celulosa, la hemicelulosa y a las pectinas.

### 3.3 Bebida vegetal.

#### 3.3.1 Balances de materia.

En la **Tabla 12** se muestra el rendimiento de cada uno de los tratamientos respecto al garbanzo, a la proteína y a los sólidos no proteínicos (SNP) con el

fin de comparar el efecto que tuvieron los distintos tratamientos aplicados al garbanzo sobre la composición obtenida, además de tomar una decisión respecto a cual bebida es la que ofrece una mayor cantidad de proteínas.

**Tabla 12** Rendimiento entre cada tratamiento respecto al garbanzo, proteína y SNP (g componente / 100 g)

Tratamiento	Rendimiento respecto a:		
	Garbanzo	Proteína	SNP
1	20.6 <sup>a</sup>	38.3 <sup>b</sup>	16.9 <sup>a</sup>
2	24.0 <sup>b</sup>	53.4 <sup>c</sup>	17.9 <sup>b</sup>
3	23.9 <sup>b</sup>	51.4 <sup>c</sup>	17.8 <sup>b</sup>
4	19.5 <sup>a</sup>	23.8 <sup>a</sup>	18.5 <sup>c</sup>
5	43.9 <sup>c</sup>	54.0 <sup>d</sup>	41.8 <sup>d</sup>

Los valores corresponden al promedio de triplicados con un CV<5%. Diferentes letras por columna indican diferencia estadísticamente significativa

Respecto a los balances de materia obtenidos, teóricamente se esperaría una bebida con un alto rendimiento en cuanto a proteínas y bajo en SNP, los tratamientos que lograron una mayor extracción de proteínas fue el número 5 con un 54.0%, seguido de los tratamientos 2 y 3 (53.4% y 51.4% respectivamente). Uno de los objetivos de este trabajo es la formulación de una bebida con un alto porcentaje de proteínas para realizar un etiquetado nutrimental y una evaluación sensorial, los tratamientos que ofrecen esto son los tratamientos 3 y 5, ya que la bebida obtenida por el tratamiento 2 resultó con un cuerpo y aroma demasiado acentuado lo cual lo hacía a esta bebida desagradable y por lo que quedó descartado para realizar los ensayos planteados.

Debido a que en el tratamiento 3 se empleó una centrifugación se pudieron eliminar partículas gruesas, como el almidón, el cual creaba una textura demasiado espesa en la bebida debido a la gelatinización que tenía lugar en la pasteurización de la bebida, además de que el blanqueamiento de las semillas en un pH básico logró desactivar a la enzima lipooxigenasa, la cual causaba un sabor a cocido en la bebida.

Respecto a la bebida obtenida por el tratamiento 5, se puede notar que fue la bebida con mayores porcentajes de rendimiento respecto al garbanzo, proteínas y SNP, esto se puede justificar debido al uso de la enzima pancreatina la cual pudo solubilizar a la proteína y al almidón mediante reacciones de proteólisis y amilólisis, disminuyendo el tamaño de partícula haciendo que estos componentes pasaran a ser parte del permeado. Respecto a los atributos sensoriales que se obtuvieron en este tratamiento fueron un cuerpo agradable y un aroma más suave.

el rendimiento respecto a los SNP fue de los menores, sin embargo por el uso de un pH básico se pudo

Los dos tratamientos que no mostraron diferencias significativas respecto al garbanzo y a los SNP son el 2 y el 3; las diferencias entre estos dos tratamientos son el remojo a distintos valores de pH y la centrifugación, Preece (2017) mencionó que existe una buena relación entre los porcentajes de extracción y solubilización de proteínas de soya respecto al pH. Los porcentajes de extracción de proteínas más altos se observan a pH menor a 3 y mayor a 6, los medios alcalinizados con  $\text{NaHCO}_3$  incrementan la fuerza iónica lo cual ayuda a la solubilización de proteínas, tomando como base esto se puede afirmar que el pH alcalino que se uso en el tratamiento 3 ayudó a elevar el contenido de proteínas aunque se puede suponer que por el tamaño de partícula este componente sedimentó lo que hizo que disminuyera el contenido de proteínas en la bebida.

### **3.3.2. Análisis Químico Proximal**

Después de conocer que los tratamientos 3 y 5 ofrecían una mayor extracción de proteínas además de atributos sensoriales más agradables a simple vista se decidió realizar un análisis químico proximal para poder realizar un etiquetado nutrimental que cumpla con las especificaciones puestas por la NOM-051-SCFI-SSA1-2010. Para lograr este objetivo y para lograr un mejor sabor y estabilidad en las bebidas se decidió adicionar a la bebida con 5 gramos de azúcar refinada y 0.02 gramos de carragenina por cada 100 mL de bebida estandarizada al 12% de sólidos. El etiquetado nutrimental para la bebida por

obtenida por el tratamiento 3 y 5 se muestra en las **tablas 13 y 14** respectivamente

**Tabla 13.** Análisis químico proximal para la bebida realizada por el Tratamiento 3 (g/100g de bebida)

Por porción de 250 mL		
<b>Contenido energético (kJ)</b>	536.53 (Kcal)	128.18
<b>Proteínas</b>	3.84 (g)	
<b>Grasas</b>	4.51 (g)	
<b>de las cuales</b>	0.36 g de grasa saturadas	
<b>Carbohidratos</b>	18.06 (g) de los cuales:	
	8.81 (g) de azúcares	
<b>Fibra dietética</b>	2.70 (g)	
<b>Sodio</b>	47.75 (mg)	

El análisis químico proximal para la bebida realizada por el Tratamiento 3 se realizó mediante la estandarización de sólidos al 12.0% con el fin de evitar una textura espesa. El segundo nutrimento en mayor proporción son los carbohidratos de los cuales una mayor cantidad son almidones, azúcares añadidos y fibra dietética. El tercer nutrimento con mayor presencia en la bebida son las proteínas (3.836 g) y respecto a la investigación de mercado realizada por Sethi (2016) con un contenido de proteínas mayor que la bebida de arroz, avena, almendra y coco.

En la **Tabla 14** se muestra el análisis químico proximal realizado para la bebida realizada por el Tratamiento 5, del mismo modo que en el tratamiento 3 se estandarizó a la bebida al 12% de sólidos con el fin de evitar una textura espesa.

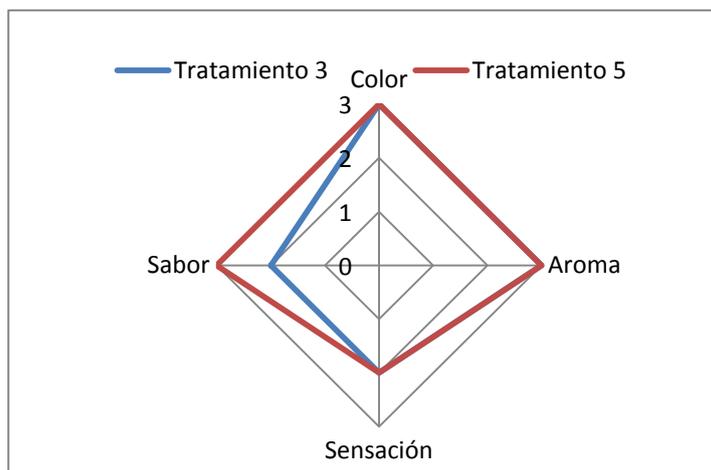
**Tabla 14.** Análisis químico proximal para la bebida realizada por el Tratamiento 3 (g/100g de bebida)

Por porción de 250 mL		
<b>Contenido energético (kJ)</b>	541.02	(Kcal) 129.250
<b>Proteínas</b>	4.78	(g)
<b>Grasas</b>	6.62	(g)
<b>de las cuales</b>	0.53	g de grasa saturadas (g) de los
<b>Carbohidratos</b>	17.85	cuales:
	9.22	(g) de azúcares
<b>Fibra dietética</b>	3.09	(g)
<b>Sodio</b>	47.75	(mg)

El contenido de proteínas es más alto en comparación con la bebida realizada por el Tratamiento 3, esto se puede atribuir al tratamiento enzimático usado. Por otro lado, el contenido de grasas es menor, este resultado se le puede atribuir al descascarillado manual de las semillas, ya que al momento de remover la cáscara se pueden retirar pequeños pedazos de germen, el cual contiene una mayor cantidad de grasas.

### 3.3.3 Análisis sensorial con estudiantes de la Facultad de Química.

Las bebidas se endulzaron con 5 gramos de azúcar refinada y 0.02 gramos de carragenina por cada 100 mL para realizar una evaluación sensorial. El análisis se llevo a cabo con 100 estudiantes de la carrera de Química de Alimentos de los cuales 46 eran del género femenino y 54 del género masculino, con edades entre los 20 y los 24 años; a cada alumno se le entregaron 2 vasos etiquetados con dígitos al azar (Tratamiento 3: 891; Tratamiento 5: 512) . En el cuestionario se tomaron en cuenta 4 parámetros, los cuales fueron el color, aroma, sensación en la boca y el sabor, por último se pidió a los alumnos encuestados que señalaran con un tache que muestra fue la que más les agradó. Las medias obtenidas para cada atributo evaluado se muestran en la **Figura 16**:



**Figura 16** Comparación del nivel de agrado de bebidas de garbanzo

Los resultados del nivel de agrado de los atributos sensoriales de las dos bebidas (color, aroma, sensación en la boca y sabor) obtenidos del análisis estadístico ANOVA se presentan en la **Tabla 15**.

**Tabla 15.** Resultados del análisis estadístico de los atributos sensoriales de las bebidas de garbanzo

Atributo sensorial	Valor F calculado	Valor F de tablas	Conclusión
Color	1.237	3.889	No hay diferencia estadísticamente significativa entre el color de las bebidas evaluadas
Aroma	0.424	3.889	No hay diferencia estadísticamente significativa entre el aroma de las bebidas evaluadas
Sensación en la boca	2.368	3.889	No hay diferencia estadísticamente significativa entre la sensación en la boca de las bebidas evaluadas
Sabor	5.045	3.889	Existe diferencia estadísticamente significativa entre el sabor de las bebidas evaluadas

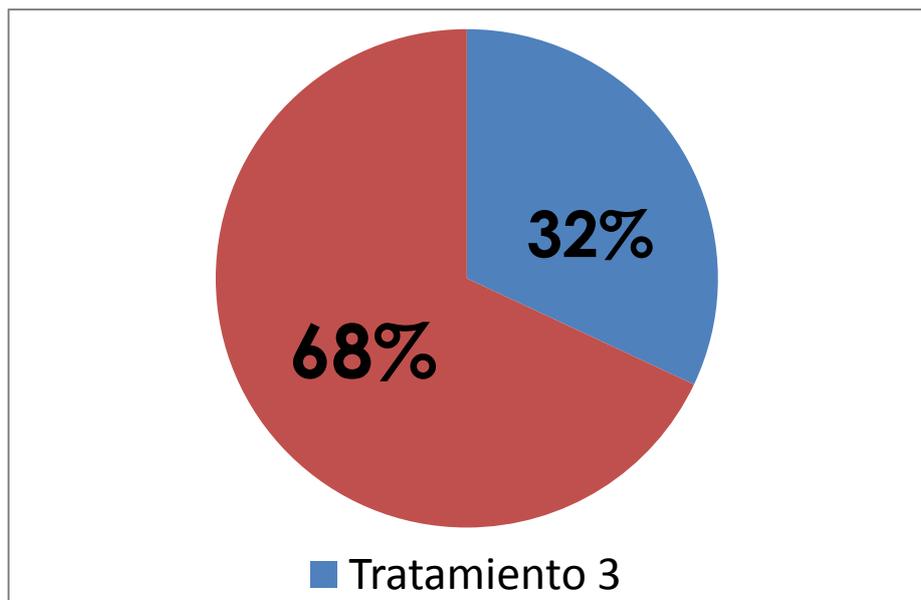
Respecto al aroma se obtuvo una media de 3 para los dos tratamientos, este atributo puede ser mejorado mediante la adición de algún agente que aporte un

aroma más agradable como vainilla o canela pero en general, el aroma que mostró una mayor aceptación fue el Tratamiento 5.

Las evaluaciones para los atributos de sensación en la boca mostraron una media cercana al 3, este valor está influenciado por la presencia de sólidos en la disolución los cuales pueden proporcionar una sensación desagradable, la cual puede solucionarse mediante un pelado de las semillas (para el tratamiento 3) o mediante la adición de gomas (como carragenina o goma guar o xantana).

En cuanto al color, se obtuvo una media de 3 para los dos tratamientos, por lo que se puede concluir que el efecto que ejerce el  $\text{NaHSO}_3$  en el garbanzo no tuvo un impacto de gran importancia, por lo que se puede hacer uso de una concentración mayor de bisulfito de sodio.

Como se puede observar, de los cuatro parámetros evaluados, el único que presenta una diferencia estadísticamente significativa fue el sabor de las bebidas, en donde la que tuvo una puntuación con características más agradables fue la hecha por el Tratamiento 5, este valor puede ser mejorado para el tratamiento 3 si se neutraliza la solución buffer de citratos con la cuales se trata el residuo sólido de garbanzo ya que puede aportar una sensación desagradable al momento de saborear la bebida. Este valor fue determinante para los evaluadores para decidir que la bebida preferida para ellos fuera la realizada por el tratamiento 5 con un porcentaje de aceptación del 68%, como se muestra en la **Figura 17**.

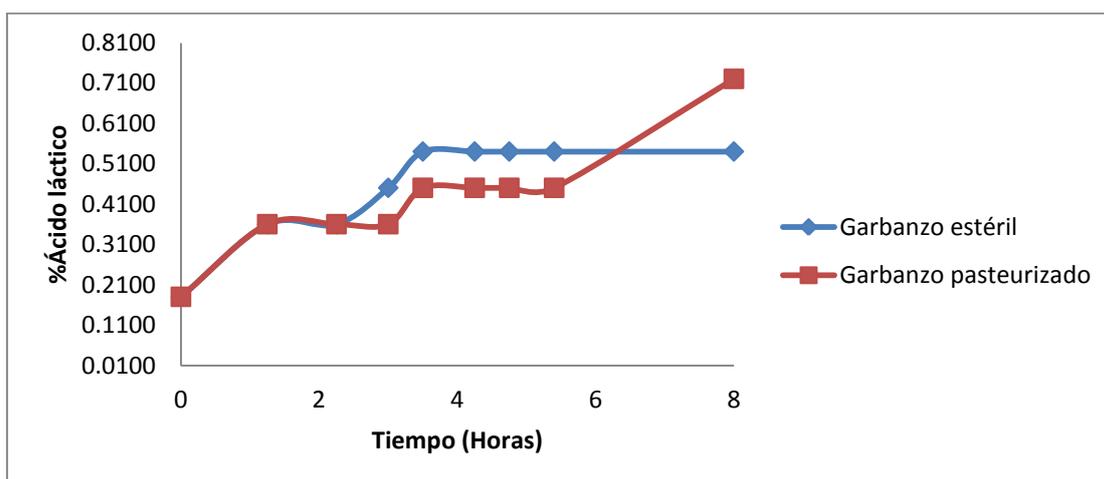


**Figura 17.** Preferencia de las bebidas (%) de los tratamiento 3 y 5.

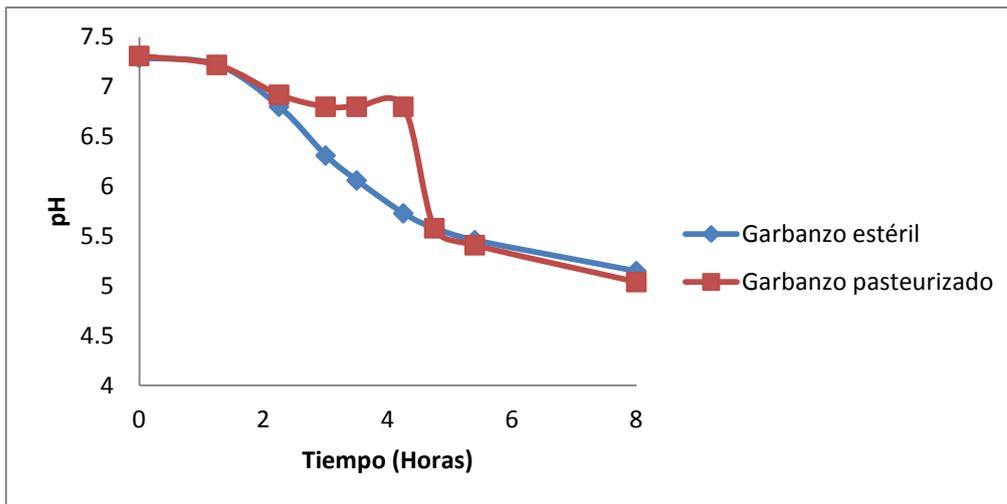
### 3.4 Fermentación de la bebida vegetal

Con los resultados obtenidos del análisis químico proximal y del análisis sensorial se decidió seguir con la elaboración de tres lotes de bebida vegetal del garbanzo por el Tratamiento 5.

Los resultados obtenidos para la fermentación de la bebida pasteurizada y estéril, se muestran a continuación:



**Figura 18** Seguimiento de la acidez (%) durante la fermentación de la bebida inoculada con *Lactobacillus bulgaricus sub. delbruekii* y *Streptococcus thermophilus*.



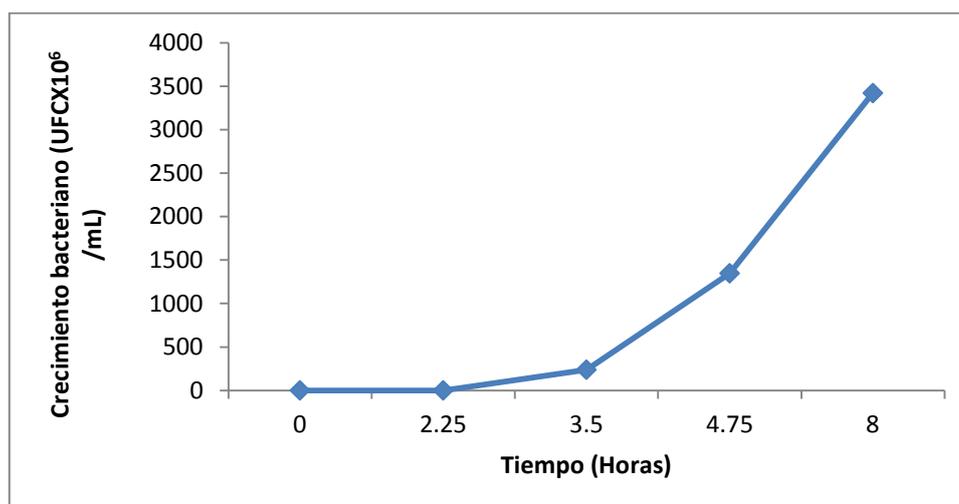
**Figura 19** Seguimiento del pH durante la fermentación de la bebida inoculada con *Lactobacillus bulgaricus sub. delbrueckii* y *Streptococcus thermophilus*.

Para la fermentación de las bebidas sometidas a distintos tratamientos térmicos se inocularon con *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii sub. bulgaricus* como cultivos iniciadores. Estos microorganismos conviven simbióticamente y crecen rápidamente durante la fermentación si se tienen condiciones de fermentación de 42°C mientras que el pH desciende a valores de 4.5 a 4.2, lo que corresponde a un contenido de ácido láctico del 1.2 al 1.4% y se encuentra un crecimiento bacteriano del  $20 \times 10^8$  células/mL (Jeske, et al., 2018).

El pH inicial de ambas bebidas fue cercano al 7.3, este valor no se mantuvo constante por mucho tiempo ya que después de una hora este valor comenzó a disminuir, a partir de la segunda hora se comenzó a ver que las bebidas tenían un comportamiento distinto. La bebida pasteurizada se mantuvo en un pH constante cercano al 7.0 durante 4 horas más, al final del seguimiento se encontró que la bebida tuvo un pH final del 5.04, el porcentaje de ácido láctico mostró cambios graduales aunque al final tuvo un incremento repentino del 0.72%. Por otro lado, el garbanzo estéril mostró un descenso del pH y aumento de la acidez más gradual, a partir de la primer hora se determinó una concentración de ácido láctico del 0.36% el cual se mantuvo hasta las 3 horas cuando ascendió al 0.45% y al final de ocho horas se obtuvo una concentración final del 0.54%.

Debido al comportamiento mostrado durante la fermentación se decidió que no existía una diferencia entre los dos tratamientos excepto en el porcentaje de ácido láctico. Los resultados obtenidos aún se alejaban de los valores reportados en la literatura para un yogurt hecho de leche de vaca debido a diversos factores, principalmente el medio en donde se espera que crezcan las bacterias no es semejante ya que el contenido de proteínas es bajo en comparación con la leche, además de que la calidad de éstas no es la misma debido a la deficiencia de aminoácidos azufrados que son de vital importancia para la formación de un gel en el caso de la leche de vaca; por otro lado, el contenido y diversidad de carbohidratos es distinto, en la leche se encuentra como principal azúcar a la lactosa y en la bebida se encuentra una gran cantidad de almidón y sacarosa añadida al medio, vale la pena mencionar que fue importante la adición de azúcar para que cumpliera la función de carbohidrato fermentable y asegurar la formación de ácido láctico como principal producto de la fermentación y evitar la proteólisis bacteriana ya que puede llegar a causar sabores desagradables en la bebida.

Posteriormente se decidió seguir con la fermentación de la bebida pasteurizada adicionada con inulina al 5% (m/v) para poder evaluar el crecimiento bacteriano y posteriormente realizar un análisis fisicoquímico. La **Figura 20** muestra la cinética de crecimiento bacteriano:



**Figura 20** Seguimiento del crecimiento bacteriano durante la fermentación de la bebida adicionada con inulina e inoculada con *Lactobacillus bulgaricus sub. Delbruekii* y *Streptococcus thermophilus*.

El crecimiento bacteriano mostró un crecimiento un tanto gradual que comenzó a partir de las 2 horas aproximadamente y después de las 8 horas alcanzó un crecimiento bacteriano del  $3.42 \times 10^8$  UFC/mL de bebida vegetal de garbanzo, esta concentración de microorganismos se puede considerar baja en comparación con lo reportado en la literatura para un yogurt de leche de vaca pero que se puede considerar como una concentración aceptable ya que estudios consideran que se necesita una concentración de  $1 \times 10^6$  UFC/mL de microorganismos viables para que puedan ejercer un efecto benéfico (Juárez & Gallardo, 2018)D

Los resultados del análisis fisicoquímico aplicado a la bebida fermentada se muestran en la **Tabla 16**.

**Tabla 16** Etiquetado nutrimental para la bebida fermentada.

Por porción de 250 mL			
<b>Contenido energético (kJ)</b>	508.361	(Kcal)	121.449
<b>Proteínas</b>	3.673	(g)	
<b>Grasas</b>	0.934	(g)	
<b>de las cuales</b>	0.073	g de grasa saturadas	
<b>Carbohidratos</b>	12.389	(g) de los cuales:	
	5.368	(g) de azúcares	
<b>Fibra dietética</b>	2.200	(g)	
<b>Sodio</b>	822.000	(mg)	

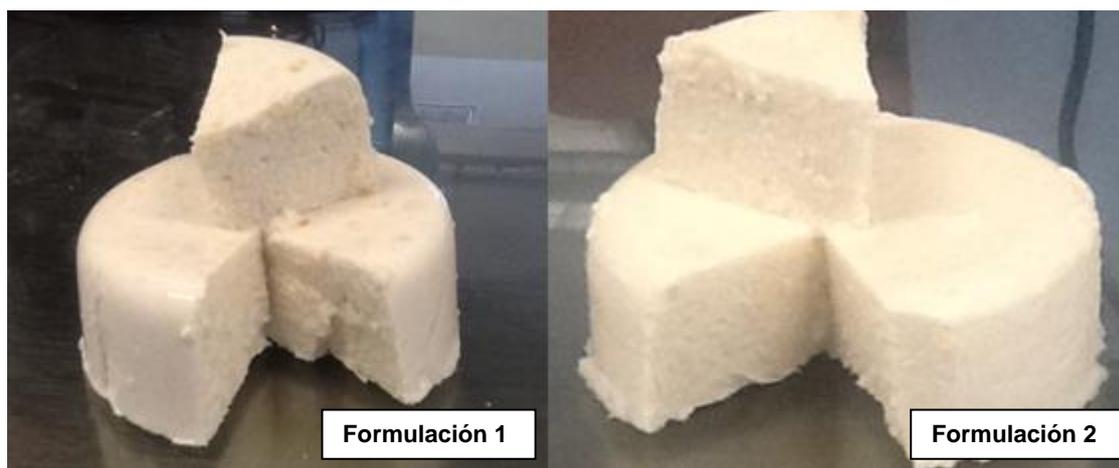
Según Makinen, *et al.* (2015), la fermentación con bacterias ácido lácticas realza atributos sensoriales y nutrimentales además de aumentar la vida útil de los alimentos. Por ejemplo, la fermentación causa que los niveles de hexanal responsables del sabor a cocido en las bebidas vegetales disminuye debido a la fermentación además de que se espera que se reduzca el contenido de oligosacáridos causantes de flatulencia.

Se puede notar que el contenido de fibra dietética aumentó considerablemente debido a la adición de inulina, que ejerce un efecto prebiótico al soportar el crecimiento de bacterias ácido-lácticas. El contenido de proteínas se elevó en cantidad respecto a la bebida sin fermentar, esto puede deberse al crecimiento bacteriano el cual ayudó a elevar este contenido, además de que se observa una reducción del contenido de lípidos.

### 3.5 Formulación de un análogo de queso.

El residuo sólido de garbanzo que se obtuvo a partir de la elaboración de bebida vegetal se logró aprovechar para la formulación de un análogo de queso, se siguieron dos formulaciones en las cuales la principal variable es el aceite de soya, el colorante y carragenina.

En la **Figura 21** se muestran dos fotografías en las cuales se muestra el análogo de queso formulado a partir de dos distintas formulaciones:



**Figura 21.** Análogos de queso.

Respecto al contenido de residuo sólido de garbanzo se trató de realizar una formulación en la cual el contenido de proteínas (del suero o caseínas) que se marca en la literatura fuera reemplazado únicamente con este residuo debido a que el uso de garbanzo o de aislados proteínicos pueden traer como consecuencia un sabor afrijolado y además de que pueden encontrarse ciertos factores anti nutricionales como inhibidores de tripsina o factores de flatulencia.

El contenido de aceite de soya se redujo en la formulación número dos ya que en la primera formulación se tenía una textura bastante grasosa, además de que al contener una alta cantidad de ácidos grasos poliinsaturados se tiene una alta probabilidad de que puedan llegar a oxidarse rápidamente.

El contenido de dióxido de titanio añadido se redujo a la mitad debido a que en la formulación uno éste se encontraba apelmazado y era difícil de homogenizar en la masa fundida, al momento de añadir la mitad de colorante se pudo lograr una mejor homogeneización en la masa logrando una mejor coloración.

### 3.5.1 Etiquetado nutrimental.

En la **Tabla 17** se muestran los resultados para el análisis químico proximal que se efectuó para determinar un etiquetado nutrimental según los parámetros de la NOM-051-SSA1-2010.

**Tabla 17.** Etiquetado nutrimental para el análogo de queso

Por porción de 30 gramos		
<b>Contenido energético (kJ)</b>	139.814 (Kcal)	121.449
<b>Proteínas</b>	0.778 (g)	
<b>Grasas</b>	1.366 (g)	
<b>de las cuales</b>	0.219 g de grasa saturadas	
<b>Carbohidratos</b>	4.499 (g) de los cuales:	
	0.000 (g) de azúcares	
<b>Fibra dietética</b>	3.602 (g)	
<b>Sodio</b>	19.1 (mg)	

El análisis fisicoquímico que se realizó al análogo de queso muestra un contenido energético total de 121.449 kcal por una porción de 30 gramos, este valor está mayormente influenciado por el contenido de carbohidratos en el cual se puede esperar una alta proporción de almidones; por otro lado el contenido de grasas se encuentra en baja proporción debido al aceite de soya con el cual se formuló el producto; sin embargo el contenido de fibra dietética se encuentra en una alta proporción la NOM-251-SSA1-2010 define a este nutrimento como el componente vegetal que no es digerido por las enzimas del aparato digestivo y que incluye fundamentalmente a los polisacáridos estructurales y no estructurales que no son almidón ni lignina; el garbanzo contiene polisacáridos que no forman parte del almidón y se dividen en dos tipos: insolubles y solubles. La parte soluble se compone de hemicelulosa y sus pectinas, dentro de las sustancias insolubles se encuentra la celulosa y algunas hemicelulosas siendo éstos los que forman parte de la pared celular y que generalmente se hace referencia a la fibra dietética y dentro del tipo de garbanzo que se usó para estos productos contiene hasta un 13% de celulosa (Aguilar-Raymundo & Vélez-Ruiz, 2013).

El contenido de proteínas se encuentra en una muy baja proporción, nutricionalmente hablando este puede ser un problema debido a la deficiencia de este nutrimento aunque de manera tecnológica esto representa una ventaja

debido a los FAN presentes en los garbanzos son de naturaleza proteínica por lo que se necesitaría la aplicación de un tratamiento térmico por mayor tiempo y temperatura el cual asegure la desactivación de estos agentes además de que la adición de un aislado de proteínas proveniente de cualquier leguminosa puede traer consigo sabores desagradables los cuales representarían un gran desventaja.

### 3.6 Poder antioxidante.

En la **Tabla 18** se muestran los resultados obtenidos para la cuantificación de polifenoles totales usando el método de Folin-Ciocalteu:

**Tabla 18.** Resultados obtenidos para la determinación de polifenoles totales mediante el método de Folin-Ciocalteu expresado en mg GAE\*/g de producto.

Producto	mg GAE/producto
Garbanzo	1.029
Bebida vegetal	0.048 <sup>a</sup>
Bebida vegetal fermentada	0.064 <sup>a</sup>
Análogo de queso	0.174

\*mg GAE: mg de ácido gálico

Los valores corresponden al promedio de triplicados con un CV<5% Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa

Según los resultados obtenidos por el método de Folin-Ciocalteu, el producto con mayor cantidad de equivalentes de ácido gálico es el garbanzo, el alimento con un mayor contenido de polifenoles es el análogo de queso lo cual tiene sentido debido al alto porcentaje de merma por la elaboración de la bebida vegetal.

Por otro lado, la bebida vegetal y la bebida fermentada muestran un contenido de ácido gálico aunque no muestran una diferencia estadísticamente significativa, lo cual indica que la fermentación con bacterias ácido lácticas no presenta una gran actividad para la generación de péptidos bioactivos, según Sanjukta & Kumar (2016) las peptidasas endógenas pueden ser las responsables del desarrollo de polipéptidos y péptidos bioactivos, pueden agregarse mediante el procesamiento en forma de enzimas añadidas o mediante la fermentación con bacterias capaces de realizar esta función, y para

el caso de la bebida fermentada, el contenido de polifenoles y su consecuente actividad antioxidante se puede modificar mediante el uso de bacterias ácido lácticas como *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium infantis*, *B. longum* y *Lb. plantarum* ya que muestran una capacidad para incrementar los polifenoles y péptidos durante la fermentación aunque la generación de péptidos bioactivos ya sea con enzimas o con bacterias no sólo tendrá un efecto antioxidante, sino que también puede traer como beneficio un poder antihipertensivo, anticancerígeno.

### 3.7 Evaluación de costos.

Se consultaron precios de cada ingrediente y aditivo empleado para el desarrollo de los alimentos dentro de una base de datos con el objetivo de obtener un costo de producción para cada producto desarrollado. En la **Tabla 19** se muestra el costeo de materias primas para la producción de un lote de 250 kilogramos de bebida vegetal:

**Tabla 19.** Costeo de materias primas para bebida vegetal.

Tamaño de lote		Bebida vegetal				
	250 kg			Costo/kg mat. prima	Costo/kg producto	
Ingredientes y aditivos	Cantidad (kg)	Sólidos	Fórmula			Impacto/costo
Garbanzo	30.224	28.344	12.090	27.000	3.264	77.432
Bicarbonato de sodio	0.696	0.696	0.278	39.000	0.109	2.576
Carbonato de sodio	0.019	0.019	0.008	23.960	0.002	0.043
Ácido cítrico	0.175	0.175	0.070	34.000	0.024	0.565
Pancreatina	0.050	0.050	0.020	1500.000	0.300	7.116
Citrato de sodio	0.049	0.049	0.020	40.800	0.008	0.190
Azúcar	6.250	6.250	2.500	12.800	0.320	7.591
Carragenina	0.050	0.050	0.020	96.000	0.019	0.455
Agua potable	212.487	0.000	84.995	0.200	0.170	4.032
SUMA	250.000	35.633	100.000	1773.760	4.216	100.000
<b>Costo inicial M. P. (1kg)</b>	4.2	<b>Margen bruto</b>				
<b>Precio mínimo de venta</b>	10.5	60%				
<b>Precio ideal de venta</b>	21.1	80%				

Respecto a la formulación necesaria para la elaboración de la bebida vegetal se puede notar que el ingrediente principal y de mayor impacto en la producción es el garbanzo con un 77.432% del total del costo ligado a que existe un alto contenido de merma sería deseable mejorar el tratamiento mediante el cual se pudiera obtener un mayor contenido de proteínas en la bebida vegetal.

El segundo ingrediente con un mayor impacto en la producción de la bebida de garbanzo es la azúcar refinada y la pancreatina, Con el fin de reducir el impacto del costo, se podría realizar una evaluación sensorial en la cual se pudiera reducir el contenido de azúcar o sustituir la adición de este endulzante mediante la adición de un edulcorante de un precio más accesible; por otro lado el costo se puede ver disminuido mediante la adición de otra enzima con un precio menor o con mayor afinidad para el tipo de proteínas contenidas en el garbanzo pudiendo elevar el contenido de proteínas solubles en la bebida vegetal pudiendo reducir el alto porcentaje de merma.

El costo de producción por kilogramo de bebida vegetal es de \$4.2 pesos en donde solo se incluye el costo de la materia prima sin incluir precios de empaques, materia prima, energía o maquinaria necesaria para la producción de esta bebida por lo que un precio de venta al público se podría fijar entre un \$10.5 a \$21.1 pesos obteniendo margen bruto máximo del 80%

En la **Tabla 20** se muestra el cuadro de costeo de materias primas para la producción de un lote de 250 kilogramos de bebida vegetal fermentada:

**Tabla 20.** Costeo de materias primas para bebida vegetal fermentada

Tamaño de lote		Bebida vegetal fermentada				
	250 kg					
Ingredientes y aditivos	Cantidad (kg)	Sólidos	Fórmula	Costo/kg mat. prima	Costo/kg producto	Impacto/costo
Garbanzo	30.224	28.344	12.090	27.000	3.264	67.784
Bicarbonato de sodio	0.696	0.696	0.278	39.000	0.109	2.255
Carbonato de sodio	0.019	0.019	0.008	23.960	0.002	0.038
Ácido cítrico	0.175	0.175	0.070	34.000	0.024	0.494
Bacterias	0.025	0.025	0.010	6000.000	0.600	12.460
Pancreatina	0.050	0.050	0.020	1500.000	0.300	6.230
Citrato de sodio	0.049	0.049	0.020	40.800	0.008	0.166
Azúcar	6.250	6.250	2.500	12.800	0.320	6.645
Carragenina	0.050	0.050	0.020	96.000	0.019	0.399
Agua potable	212.462	0.000	84.985	0.200	0.170	3.530
SUMA	250.000	35.658	100.000	7773.760	4.816	100.000
<b>Costo inicial M. P. (1kg)</b>		4.8	<b>Margen bruto</b>			
<b>Precio mínimo de venta</b>		12.0	60%			
<b>Precio ideal de venta</b>		24.1	80%			

A comparación de la bebida vegetal se puede notar que otro ingrediente añadido a la formulación, que tiene un impacto considerable en el desarrollo y producción de este y son las bacterias ácido lácticas. Este ingrediente no se puede sustituir ya que son las responsables de la fermentación y creación de notas y sabores en la bebida, sin embargo para poder reducir el impacto en el costo sería una buena opción el tener una cepa viva y una cepa liofilizada la cual se pueda reproducir en condiciones de laboratorio, pudiendo reducir el costo para este ingrediente.

A continuación se presenta la **Tabla 21** con el cuadro de costeo de materias primas para la producción de un lote de 250 kilogramos de análogo de queso:

**Tabla 21.** Costeo de materias primas para análogo de queso.

Tamaño de lote		Análogo de queso				
	250 kg					
Ingredientes y aditivos	Cantidad (kg)	Sólidos	%Fórmula	Costo/kg mat. prima	Costo/kg producto	Impacto/costo
Residuo (Garbanzo)	152.600	63.649	61.040	0.000	0.000	0.000
Citrato	11.420	11.420	4.568	40.800	1.864	23.737
Pirofosfato	5.140	5.140	2.056	10.823	0.223	2.834
Sal	2.270	2.270	0.908	34.000	0.309	3.932
Aceite de soya	42.857	0.025	17.143	4.000	0.686	8.733
Carragenina	5.714	0.050	2.286	96.000	2.194	27.946
Dióxido de titanio	1.428	1.428	0.571	195.000	1.114	14.186
Ácido Láctico	28.571	28.571	11.428	12.800	1.463	18.631
SUMA	250.000	112.553	100.000	393.423	7.852	100.000
<b>Costo inicial M. P. (1kg)</b>	7.9	<b>Margen bruto</b>				
<b>Precio mínimo de venta</b>	19.6	60%				
<b>Precio ideal de venta</b>	39.3	80%				

A primera vista, resalta que el principal ingrediente que impacta el costo de producción del análogo de queso es la Carragenina, este ingrediente cumple con la función de otorgar al análogo la textura firme deseable en un queso, se podría sustituir con algún otro gelificante el cual tuviera un mayor poder de gelificación con el cual se pudieran obtener los mismos resultados con menor cantidad.

El ingrediente con el cual se formula este producto es con el residuo sólido de garbanzo, este ingrediente no representa precio alguno ya este precio fue absorbido por la elaboración de la bebida vegetal y la bebida vegetal fermentada con lo cual se reduce el porcentaje de merma mediante la producción de este producto.

## CONCLUSIONES

- ☞ Mediante el uso de metodologías encontradas en las NMX-FF-036-1996 y NMX-FF-089-SCFI-2008, para trigo y soya respectivamente, y en artículos de divulgación científica se determinó como aceptable la calidad de un lote de garbanzo usado como materia prima.
- ☞ Se realizó un análisis fisicoquímico del lote de garbanzo aceptado para la formulación de los productos derivados de éste, pudiendo destacar un contenido de proteínas del 17.790% y un contenido de lípidos del 7.520%.
- ☞ Se pudo determinar un porcentaje de merma en base a proteínas para las 5 bebidas realizadas por distintos tratamientos en donde la bebida con el mayor porcentaje de extracción y un perfil sensorial más agradable a simple vista fue la número 5 con un 54.0% y la número 3 con un 51.40%.
- ☞ Mediante una evaluación sensorial, se determinó que la bebida con mayor nivel de agrado fue la realizada por el tratamiento 5 con un 68% de preferencia contra un 32% para el tratamiento 3.
- ☞ Se fermentó a la bebida con mayor porcentaje de preferencia mediante la inoculación de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii sub. bulgaricus* logrando un pH del 5.04, un porcentaje de acidez del 0.72% después de 8 horas de fermentación y un crecimiento bacteriano del  $3.42 \times 10^8$  UFC/mL de bebida tras 12 horas de fermentación.
- ☞ Se desarrolló un análogo de queso con el residuo de garbanzo resultante de la producción de la bebida vegetal con un 1.5% de carragenina
- ☞ Se realizó un costeo de materias primas para los productos desarrollados, determinando un costo del \$4.2, \$4.2 y \$7.2 pesos para la bebida vegetal, la bebida vegetal fermentada y el análogo de queso respectivamente.
- ☞ Se determinó la cantidad de polifenoles totales en el garbanzo y en los productos desarrollados, determinando un mayor contenido de polifenoles en el garbanzo, seguido del análogo de queso, por último la bebida vegetal fermentada y la bebida vegetal.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Raymundo, V. & Vélez-Ruiz, J., 2013. Propiedades Nutricionales y Funcionales del Garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Temas Selectos en Ingeniería de Alimentos, VII(2), pp. 25-34.
- Almanza, F. & Barrera, F., 1996. *Tecnología de la Leche y Derivados*. Primera Edición ed. Bogotá: UNISUR.
- Association Of Official Analytical Chemist (AOAC), 1996. *Official Methods Of Analysis*. 14th Edition ed. Washington : s.n.
- Bachmann, H., 2001. Cheese Analogues: A review. *International Dairy Journal*, III(11), pp. 505-515.
- Badui, S., 2006. *Química de Alimentos*. México: Pearson Educación.
- Bedolla, S. & Dueñas, C., 2004. *Introducción a la tecnología de alimentos*. Segunda Edición ed. México: Limusa.
- Belitz, H. D., Grosch, W. & Schieberle, P., 2012. *Food Chemistry*. Tercer Edición ed. Zaragoza: ACRIBIA.
- Bernat, N., Cháfer, M., Chiralt, A. & González-Martínez, C., 2014. Development of a non-dairy probiotic fermented product based on almond milk and inulin. *Food Science & Technology*, pp. 440-442.
- Blandino, A. y otros, 2003. Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Research International*, XXXVI(36), pp. 527-543.
- Calvo-Carrillo, M. d. I. C. & Mendoza-Martínez, E., 2012. *Toxicología de los Alimentos*. Primera Edición ed. México: McGraw Hill.
- Dendy, D. & Dobraszczyk, B., 2001. *Cereales y Productos Derivados*. *Química y Tecnología*. Primera ed. s.l.:Acribia.
- Diarra, K. & Nong, Z., 2005. Peanut Milk And Peanut Milk Based Product Production : A Review Critical. *Food Science And Nutrition*, 5(45), pp. 405-423.
- FAO, 2005. *Pulses: past trends and future projects.*, New Delhi: FAO.
- FAO, 2016. *La huella del desperdicio de alimentos de las legumbres*. [En línea]  
Available at: <http://www.fao.org/pulses-2016/news/news-detail/es/c/357603/>  
[Último acceso: 9 Septiembre 2018].

Fox, P. F., McSweeney, P., Cogan, T. & Guinee, T., 2000. *Fundamentals Of Cheese Science*. Maryland: Aspen Publishers Inc.

Gänzle, M. G., 2015. Lactic Metabolism revisited: Metabolism Of Lactic Acid Bacteria In Food Fermentations And Food Spoilage. *Food Science*, Issue 2, pp. 106-117.

García-Garibay, M., Quintero-Martínez, R. & López-Munguía-Canales, A., 2004. *Biotecnología Alimentaria*. Primera ed. México: Limusa.

Gaspoz, M., 2014. *Aprovecho de la Leche, la Crema de Leche y la Manteca (Licenciatura)*. México: Instituto Superior.

Gaucín, D., 2016. Producción y Consumo de Legumbres. *El Economista*, 16 Junio, pp. 13-14.

Gil-Hernández, Á., 2010. *Tratado de Nutrición Humana*. Segunda edición ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana.

González, M., 2007. *Diseño de un Pasteurizador Para Helados*. España: Universidad de Cadiz.

Guinee, T., 2011. *Cheese Analogues*. Ireland: Elsevier.

Guinee, T., 2011. *Cheese Analogues*. Ireland: Elsevier.

Hernández, M. & Sastre, A., 1999. *Tratado de Nutrición*. Primera Edición ed. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Imram, N., Gómez, I. & Soh, V., 2003. *Soya Handbook*. Singapore: s.n.

Jeske, S., Zaninni, E. & Arendt, E., 2018. Past, Present and Future: The Strenght of Plant-Based Dairy Substitutes Based On Gluten Free Raw Materials. *Food Research International*, I(110), pp. 45-51.

Juárez, M. & Gallardo, Y., 2018. Desarrollo De Una Bebida De Almendra Adicionada Con Lactobacillus brevis. *Investigación Y Desarrollo en Ciencia Y Tecnología De Alimentos*, 3(1), pp. 572-578.

Khee, C., 1993. *Tecnología Para La Producción De Leche De Soya*. USA: s.n.

López-Bellido, L., 1996. Nuevas Técnicas Para Determinar La Calidad De Las Legumbres. *Distribución Y Consumo*, pp. 77-83.

Mäkinen, O., Wanhalinna, V., Zannini, E. & Arendt, E., 2016. Foods for Special Dietary Needs: Non-dairy Plant-based Milk Substitutes and Fermented Dairy-type Products.. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, LVI(3), pp. 339-349.

Maluenda, J., 2016. *Situación del Sector de Legumbres en el Mundo y su Importancia en España*. [En línea]

Available at: <https://www.agrodigital.com/wp-content/Documentos/legumbres17.pdf>

[Último acceso: 2 Septiembre 2018].

Monroy-Galván, S. S., 2016. *Efecto De La Incorporación De Proteínas De Lactosuero En La Elaboración De Quesos Frescos Y En El Desarrollo de Un Queso Análogo Con Proteínas Exclusivas De Lactosuero*. Ciudad de México: s.n.

Morales, J. & Durón, L., 2004. *Cultivo de Garbanzo Blanco en Sonora*. Primera Edición ed. Sonora: INIFAP-SAGARPA.

Muñoz-Bernal, Ó. y otros, 2017. Nuevo acercamiento a la interacción del reactivo de Folin-Ciocalteu con azúcares durante la cuantificación de polifenoles totales. *TIP REVISTA ESPECIALIZADA EN CIENCIAS QUÍMICO-BIOLÓGICAS*, 21(1), pp. 23-28.

NMX-FF-089-SCFI-2008, s.f. *Productos no industrializados para uso humano- oleaginosas- Soya- Glycine mx (L.) Especificaciones y métodos de prueba..* s.l.:s.n.

NOM-051-SCFI/SSA1-2010, N. O. M., s.f. *Especificaciones Generales de Etiquetado Para Alimentos y Bebidas No Alcohólicas Preenvasados- Información Comercial y Sanitaria.* s.l.:s.n.

Ogunremi, O., Banwo, K. & Sanni, A., 2017. Starter-culture to improve the quality of cereal-based fermented foods: trends in selection and application. *Food Science*, 1(13), pp. 38-43.

Parra-Huertas, R. A., 2010. Review. Bacterias Ácido Lácticas: Papel Funcional En Los Alimentos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias*, VIII(1), pp. 93-105.

Pinthong, R., Macrae, R. & Rothwell, J., 2007. The Development Of A Soya-Based Yoghurt. *International Journal of Food Science & Technology*, 15(6), pp. 653-659.

Potter, N., 2016. *Food Science*. Tercera Edición ed. New York: Macmillan.

Preece, K. E., Hooshyar, N. & Zuidam, N. J., 2017. Whole Soybean Protein Extraction Processes: A Review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, pp. 163-172.

Riaz, M., 2006. *Soy Applications in Food*. London: Taylor and Francis Group..

- Sanjukta, S. & Kumar, A., 2016. Production Of Bioactive Peptides During Soybean Fermentation And Their Potential Health Benefits. *Trends In Food Science & Technology*, I(10), pp. 423-436.
- Savón, L., 2006. Avances en los Métodos Para Disminuir el Efecto de Factores Antinutricionales en Alimentos Para Especies Monogástricas. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, XIII(1), pp. 194-201.
- Sepúlveda, T., 2016. *Diseño de un Proceso Enzimático de Elaboración de Leche de Avena Con Características Funcionales*, Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Sethi, S., 2016. Plant Based Milk Alternatives An Emerging Segment of Functional Beverages: A Review. *Journal of Food Science and Technology*, pp. 3408-3423.
- Shurtleff, W. & Aoyagi, A., 2000. *Tofu & Soymilk Production: A Craft And Technical Manual*. Second Edition ed. United States: Soyfoods Center.
- SIAP, 2016. *Atlas Agroalimentario*. Primera edición ed. Ciudad de México: SAGARPA.
- Soriano del Castillo, J. M., 2006. *Nutrición Humana Básica*. Valencia: PUV.
- Toldrá, F., Reig, M., Aristoy, M. C. & Mora, L., 2017. Generation Of Bioactive Peptides During Food Processing. *Food Chemistry*, Issue 6, pp. 93-105.
- Wacher-Rodarte, C., 2014. La Biotecnología Alimentaria Antigüa: Los Alimentos Fermentados. *Revista Digital Universitaria*, XV(8), pp. 1-14.
- Wood, J. & Gruzak, M., 2007. Nutritional Value of Chickpea. En: *Chickpea Breeding and Management*. Texas: CAB International, pp. 101-142.
- Wooki, K. y otros, 2018. Puffing, A Novel Coffee Bean Processing Technique For The Enhancement Of Extract Yield And Antioxidant Activity. *Food Chemistry*, Volumen 240, pp. 594-600.
- Yadav, D., Bansal, S., Jaiswal, A. & Singh, R., 2017. Plant Based Dairy Analogues: An Emerging Food. *Agricultural Research & Technology Open Acces Journal*, pp. 01-04.