



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“ELABORACIÓN DE UN ANÁLOGO DE QUESO CHIHUAHUA  
ADICIONADO CON ALMIDÓN DE LEGUMINOSA  
MODIFICADO POR EXTRUSIÓN REACTIVA”**

**TESIS INDIVIDUAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

**PRESENTA**

**DIEGO MARCOS PALOMARES**

**DIRIGIDA POR**

**Dra. MAYRA ESTHELA GONZÁLEZ MENDOZA**

**SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2024.**

La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	

Contenido	Página
I. ANTECEDENTES	1
I.1 Consumo de productos lácteos en México	1
I.2 Queso	3
I.2.1 Clasificación de los quesos	3
I.2.1.1 Clasificación basada en textura	4
I.2.1.2 Clasificación basada en los métodos de coagulación	4
I.2.1.3 Clasificación basada en los índices de maduración	5
I.3 Queso Chihuahua	6
I.4 Análogos de queso	7
I.4.1 Proceso de elaboración de análogos de queso	9
I.4.2 Ventajas y desventajas de la elaboración de quesos análogos	10
I.5 Uso de carbohidratos en la elaboración de análogos de queso	11
I.5.1 Almidón de fuentes no convencionales	12
I.6 Modificaciones de los almidones	13
I.6.1 Almidones succinatados	13
I.6.2 Extrusión reactiva para la obtención de almidón OSA	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 General	15
2.2 Específicos	15
III. METODOLOGÍA	16
III.1 Métodos	16

III.1.1 Extracción del almidón	16
III.1.2 Caracterización del almidón	16
III.1.2.1 Análisis proximal	16
III.1.2.2 Contenido de almidón resistente	16
III.1.2.3 Perfil de viscosidad	17
III.1.2.4 Calorimetría diferencial de barrido	17
III.1.3 Extrusión reactiva del almidón	17
III.1.4 Caracterización del almidón extrudido	18
III.1.4.1 Perfil de viscosidad	18
III.1.4.2 Calorimetría diferencial de barrido	18
III.1.5 Formulación y elaboración de análogo de queso Chihuahua	18
III.1.6 Determinaciones en el análogo de queso Chihuahua	19
III.1.6.1 Análisis proximal	19
III.1.6.2 Textura	20
III.1.6.3 Análisis de color	20
III.1.6.4 Análisis de fundido	20
III.1.7 Diseño experimental y análisis estadístico	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1 Caracterización de los almidones nativos	21
4.1.1 Análisis proximal	21
4.1.2 Contenido de almidón resistente	22
4.1.3 Perfil de viscosidad	23
4.1.4 Calorimetría diferencial de barrido	25
4.2 Caracterización del almidón extrudido	26
4.2.1 Perfil de viscosidad	26
4.2.2 FTIR	28
4.2.3 Calorimetría	30
4.3 Determinaciones en el análogo de queso Chihuahua	32
4.3.1 Análisis proximal	32
4.3.2 Textura	33

4.3.3 Análisis de color	35
4.3.4 Análisis de fundido	38
5. CONCLUSIONES	40
6. BIBLIOGRAFÍA	41

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Clasificación de grupos de productos lácteos.	2
2 Formulación para la elaboración de un análogo de queso Chihuahua.	19
3 Análisis proximal de los almidones nativos de haba y lenteja.	21
4 Contenido de almidón resistente en el almidón nativo de lenteja y haba.	22
5 Rendimiento de las diferentes formulaciones del análogo de queso Chihuahua.	32
6 Análisis proximales de las diferentes formulaciones del análogo de queso Chihuahua.	33
7 Análisis de textura de las diferentes formulaciones del análogo de queso Chihuahua.	34
8 Análisis de color de las diferentes formulaciones del análogo de queso Chihuahua.	36
9 Análisis de fundición de las formulaciones del análogo de queso Chihuahua.	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Clasificación del queso que muestra la diversidad de las tecnologías del queso.	4
2 Variedades de queso clasificadas en superfamilias según el método de coagulación y subdivididas con base a los principales agentes de maduración y/o tecnología característica.	6
3 Diversos enfoques aplicados para el desarrollo de análogos de quesos.	8
4 Diagrama de flujo general para la elaboración de quesos análogos.	10
5 Extrusión reactiva para la obtención de almidones OSA.	14
6 Perfil de viscosidad del almidón nativo de lenteja.	24
7 Perfil de viscosidad del almidón nativo de haba.	24
8 Perfil térmico del almidón nativo de lenteja.	26
9 Perfil térmico del almidón nativo de haba.	26
10 Perfil de viscosidad del almidón de lenteja.	27
11 Perfil de viscosidad del almidón de haba.	28
12 Espectroscopía FTIR del almidón de lenteja.	29
13 Espectroscopía FTIR del almidón de haba.	30
14 Perfil térmico del almidón de lenteja.	31
15 Perfil térmico del almidón de haba.	31
16 Fotografía de los quesos análogos obtenidos de las diferentes formulaciones	37
17 Fotografía de la evaluación de fundido de las formulaciones	39

## RESUMEN

El queso es un alimento elaborado a partir de leche, que tiene un amplio consumo a nivel mundial y cuyas características difieren entre cada tipo, éstos pueden ser clasificados conforme a su textura, su método de coagulación o sus índices de maduración. El queso Chihuahua es un queso tradicional de alta demanda, cuyas características lo hacen semi firme, suave y mantecoso, con una nitidez similar al queso cheddar, disponible en trenzas, bolas o rondas. Por otro lado, la producción de quesos análogos ha aumentado en los últimos años, consistiendo en una mezcla de agua, grasas, proteínas y aditivos alimentarios que forman una matriz homogénea de tipo queso con la finalidad de imitar atributos físicos y sensoriales del queso convencional. Los quesos análogos usan comúnmente como un factor sustituyente de grasa el almidón de diversas fuentes, ayudado así a la reducción del contenido de grasa, proporcionando aceptabilidad en apariencia, textura y mejor sensación en la boca. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue elaborar análogos de queso Chihuahua mediante la adición de almidones modificados por extrusión reactiva y comparar sus características fisicoquímicas. En primer lugar, se estudió la modificación química de almidones nativos de haba y lenteja mediante extrusión reactiva a una concentración de 3 % de anhídrido octenil succínico, para la caracterización de los almidones extrudidos se compararon perfiles de viscosidad, espectroscopías FTIR y calorimetrías. Se encontró disminución en la viscosidad de los almidones extrudidos comparado con la viscosidad de los almidones nativos debido a la degradación de los polímeros de almidón. En los espectros de almidones extrudidos se presentó un nuevo pico de absorción ( $1562$  y  $1566\text{ cm}^{-1}$  para haba y lenteja respectivamente) generado por el enlace de éster, no se observó un cambio en el flujo de calor en el almidón extrudido debido a la gelatinización completa provocada por rupturas en los enlaces intermoleculares en la estructura del almidón. Para la elaboración de los análogos de queso se realizó un diseño experimental unifactorial para almidón de lenteja y para haba: control (análogo sin sustitución de almidón modificado), análogo sustituido con almidón de haba en 3 % y en 5 % y almidón de lenteja en 3 % y en 5 %. Se obtuvieron rendimientos de 89 % a 92 %. Se evaluó humedad (23.48 % a 26.22 %), proteína (24.10 % a 25.59 %), grasa (9.17 % a 10.67 %) y ceniza (3.63% a 3.68 %), además de características fisicoquímicas como textura, color y fundido. No se presentaron diferencias significativas en las determinaciones de humedad, proteína y cenizas; sin embargo, en la determinación de grasa se encontró diferencia significativa que se atribuye a la sustitución de grasa butírica; esto se relacionó con la disminución de la cohesividad en los análogos de queso Chihuahua. Las formulaciones mostraron una ligera tonalidad amarilla, sin embargo, las formulaciones con almidón extrudido de lenteja presentaron mayor nivel de intensidad de tono debido a la diferencia de la tonalidad de los propios almidones extrudidos. Los almidones modificados por extrusión reactiva de haba y lenteja se aplicaron exitosamente en la elaboración de un análogo de queso Chihuahua con características similares a las de un análogo de queso Chihuahua, pudiendo este producto ser competitivo en el mercado.

Palabras clave. Análogo de queso, queso Chihuahua, almidón modificado, extrusión.



## **1. ANTECEDENTES**

### **I.1 Consumo de productos lácteos en México**

El consumo de leche *per se* o como productos lácteos varía considerablemente de una región a otra, dependiendo de la tradición, la disponibilidad, el precio, entre otros aspectos. En México, la industria de lácteos representa la segunda industria más importante dentro del sector ganadero (Secretaría de Economía, 2012).

Los productos lácteos pueden ser clasificados de distintas maneras, sin embargo, analizando los grupos principales Brouwer-Brolsma y col. (2018) los clasifican conforme a lo mostrado en el Cuadro 1.

El queso es el derivado lácteo de mayor consumo a nivel mundial debido a sus características sensoriales, destacando que existen más de 2000 variedades, siendo clasificados principalmente como madurados, semi-madurados y frescos. Por tradición, sencillez y gusto, los quesos frescos son los productos lácteos de mayor consumo en México, a comparación de los quesos madurados que son ampliamente demandados en Europa. Actualmente se ha visto un crecimiento de la población en grandes ciudades en países en desarrollo, en el caso de México, este crecimiento generalmente está acompañado por un incremento en el poder adquisitivo, conllevando a una mayor demanda de productos alimenticios así como un aumento en la variedad de alimentos; la industria de productos lácteos ha presentado un ritmo de crecimiento mayor que las industrias de alimentos más importantes, como el maíz y la carne (Gallardo, 2005).

En México el queso tiene una tasa media anual de incremento de consumo de 1.6 %. Este incremento puede ser debido al cambio en el estilo de vida de los consumidores, la innovación en el mercado de quesos y, finalmente, las variadas aplicaciones del producto (Masotti y col., 2018). De acuerdo con FoodTech (2020) para el año 2020 México mostró un consumo nacional de queso mayor a 400 mil toneladas mostrando así que, por persona, el consumo anual se halla entre 2.1 a 6 kg.

Cuadro 1. Clasificación de grupos de productos lácteos (Brower-Brolsma y col., 2018).

Grupos de productos lácteos		Productos lácteos incluidos*
Total de productos lácteos		Todos los productos lácteos excepto la mantequilla
Productos lácteos desnatados		Todos los tipos de leche desnatada (0-1 g de grasa, 4 %) y yogur (0-2 g de grasa, 27 %), suero de leche (0-2 g de grasa, 24 %) y bebidas de yogur con sabor (0-2 g de grasa, 45 %)
Productos lácteos semidesnatados	lácteos	Todos los tipos de leche semidesnatada (1.5 g de grasa, 74 %) y queso bajo en grasa (15 g de grasa, 26 %)
Productos lácteos enteros		Todos los tipos de leche entera (3-5 g de grasa, 23 %) y yogur (2-9 g de grasa, 7 %), queso bajo en grasa (>24 g de grasa, 43 %), crema (35 g de grasa, 3 %), helado a base de leche (12 g de grasa, 12 %), leche de chocolate (1-9 g de grasa, 12%)
Productos lácteos fermentados		Todos los tipos de yogur (22 %), requesón / quark (10 %), suero de leche (15 %), queso (34 %) y aromatizado bebidas de yogurt (19 %)
Productos lácteos sin fermentar		Todos los tipos de leche (73 %), natillas (9 %), gachas (3 %), helado a base de leche (11 %) y nata (4 %)
Leche		Todos los tipos de leche, incluida la leche natural (63 %), la leche de café (25 %) y la leche de chocolate (12 %)
Leche desnatada		Todos los tipos de leche desnatada (0-1 g de grasa)
Leche semidesnatada		Todos los tipos de leche semidesnatada (1-5 g de grasa)
Leche entera		Todos los tipos de leche entera (3-5 g de grasa)
Yogur		Todos los tipos de yogur
Yogur desnatado		Todos los tipos de yogur desnatado (0-2 g de grasa)
Yogur con toda la grasa		Todos los tipos de yogur natural (2.9 g de grasa)
Suero de leche		Todos los tipos de suero de leche
Queso cuajado / quark		Todos los tipos de requesón / quark
Bebidas de yogur con sabor		Todo tipo de bebidas de yogur con sabor
Flan		Todos los tipos de natillas
Queso		Todos los tipos de queso, incluidos los quesos holandeses (quesos blandos y duros) (68 %) y otros quesos (es decir, queso crema, quesos extranjeros, bocadillo de queso) (32 %).
Queso bajo en grasa		Todos los tipos de queso bajo en grasa (15 g de grasa)
Queso bajo en grasa		Todos los tipos de queso bajo en grasa (>24 g de grasa)
Queso holandés		Todos los tipos de quesos holandeses (amarillos)

\* El primer número que sigue al producto lácteo en la segunda columna indica la cantidad de grasa (g) por 100; el porcentaje (%) se refiere a la contribución de ese producto lácteo en específico a esa categoría.

Las últimas estadísticas sobre el estado nutricional y el consumo de alimentos de la República Mexicana se encuentran actualmente compiladas por la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) Continua 2022.

## I.2 Queso

El queso es uno de los alimentos procesados más antiguos de la historia, ya que se remonta al año 10.000 a.C. donde se domesticaron ovejas y cabras en el Medio Oriente. A pesar del paso del tiempo, el queso es considerado uno de los productos lácteos más consumidos a nivel mundial (Walther et al., 2008).

El queso es un producto elaborado a partir de la leche de diferentes tipos de animales rumiantes, como vaca, cabra, oveja, búfala, yegua y otros. Muchos quesos producidos actualmente en todo el mundo tienen características muy diferentes, pero sus métodos de producción tienen ciertas similitudes, lo que permite realizar una definición que abarque la mayoría de ellos (Walther et al., 2008).

Según el Codex Alimentarius de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONUAA), o mejor conocido como FAO, el queso es un producto duro o semisólido, maduro o fresco, en el que la proporción entre proteínas de suero y caseína no es importante, superior a la leche y obtenido por coagulación total o parcial de la leche por acción del cuajo u otros coagulantes adecuados con escurrido parcial del suero.

### I.2.1 Clasificación de los quesos

El queso es un alimento de amplio consumo a nivel mundial cuyas características nutritivas, funcionales, texturales y sensoriales difieren entre cada tipo. Se estiman más de 2000 variedades de queso entre maduros, semi-madurados y frescos, de ahí que no exista una clasificación definitiva sobre las distintas variedades del producto (Gallardo, 2005).

McSweeney y col. (2017) clasificaron los quesos en función de sus características, textura, método de coagulación e índices de maduración como se puede observar de manera general en la Figura 1.

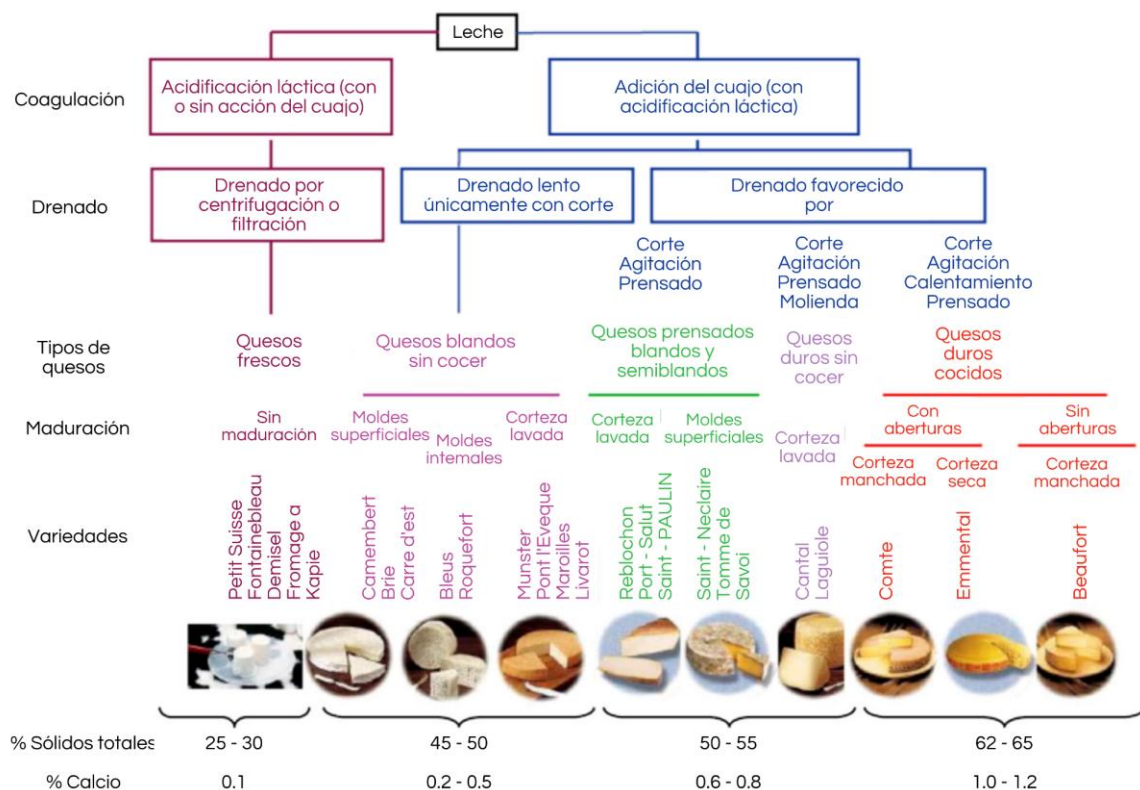


Figura 1. Clasificación del queso que muestra la diversidad de las tecnologías del queso (McSweeney y col., 2017).

#### I.2.1.1 Clasificación basada en textura

El Código Alimentario Argentino (2015) propone una clasificación de textura en función del contenido de humedad y grasa. Dependiendo del contenido de grasa, los quesos se dividen en las categorías de queso doble crema o queso extra graso (60 % de grasa), queso graso (45-59.9 %), queso semigraso (25-44.9 %), queso bajo en grasa queso (10-24.9 %) y leche desnatada.

#### I.2.1.2 Clasificación basada en el método de coagulación

En la producción de queso uno de los pasos principales es la conversión de la leche en un gel viscoelástico, aunque el proceso mecánico es relativamente sencillo, involucra fenómenos físicos y químicos muy complejos, aunque en esencia es un proceso de concentración que consiste en la coagulación de las principales proteínas de la leche (caseína) bajo la acción de enzimas (cuajo), coagulantes ácidos

(generalmente ácido láctico) o calor, dando como resultado la amplia variedad de quesos que se muestran en la Figura 2 (McSweeney et al., 2017).

La coagulación enzimática (inducida por el cuajo) de la leche se puede dividir en dos fases: hidrólisis de la proteína estabilizadora de micelas,  $\kappa$ -caseína, agregación y gelificación de las micelas alteradas con cuajo, con el desarrollo de un gel articulado. El mecanismo de la fase primaria (enzimática) se ha descrito en términos moleculares y se han cuantificado los efectos de varios factores ambientales al respecto. La agregación de las micelas con cuajo ocurre por modificación del potencial zeta de las micelas, debido a que principalmente la capa superficial de  $\kappa$ -caseína, se ha reducido a un nivel crítico. La gelación generalmente se considera como una continuación de la fase secundaria (agregación), pero requiere un enfoque e instrumentación diferentes para su estudio. Es el aspecto más complejo y, en la actualidad, el menos comprendido de la coagulación enzimática de la leche (Salvador y col., 2022).

#### 1.2.1.3 Clasificación basada en los índices de maduración

La NOM-121-SSA1-1994 clasifica a los quesos como maduros, frescos y procesados. Entre los quesos madurados se tienen los prensados de pasta dura (Añejo, Parmesano, Cotija, Reggianito) y madurados con hongos (Azul, Cabrales, Camembert, Roquefort, Danablu, Limburgo, Brie). En el caso de quesos procesados están los fundidos y fundidos para untar. No obstante, en México predomina el consumo de quesos frescos los cuales se clasifican en frescales como lo son el queso panela, de canasto, ranchero, sierra, adobado y enchilado; de pasta cocida (Oaxaca, Asadero, Mozzarella, Del Morral, Adobera) y acidificados (Cottage, Crema, Doble crema, Petit Suisse, Nuefchatel).

Una desventaja de esta clasificación es que existen variedades de quesos que no encajan total o adecuadamente con las características mencionadas, tal es el caso de los quesos procesados, los productos a base de queso y los análogos de queso.

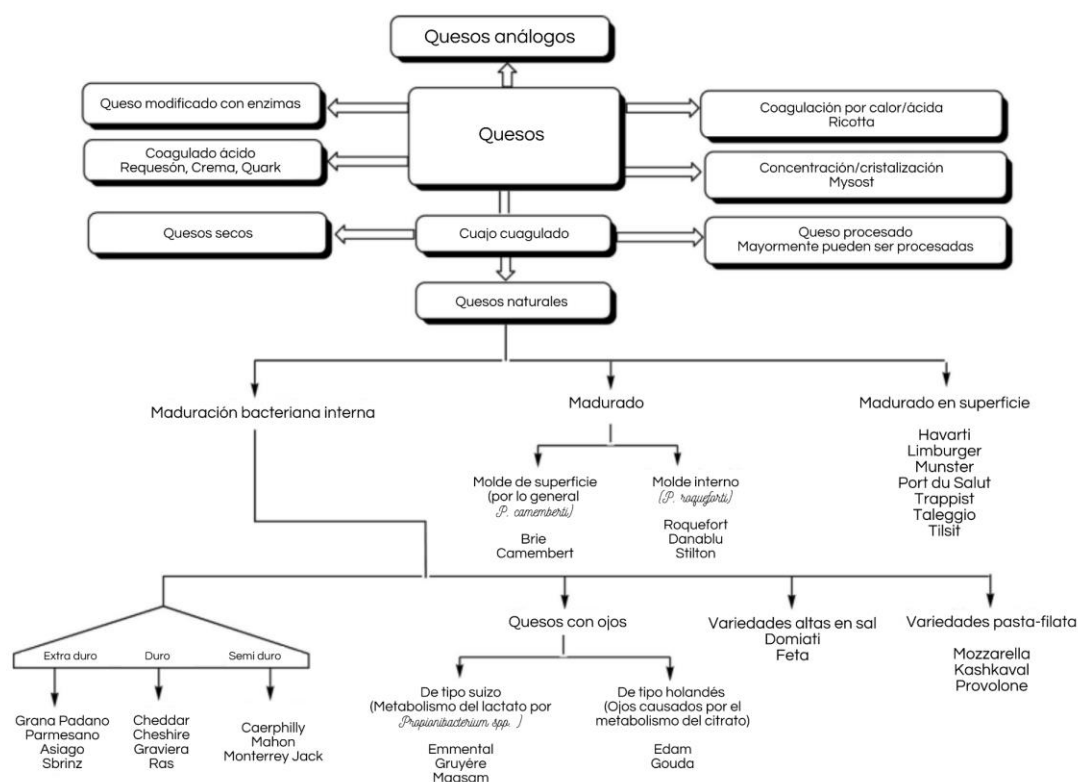


Figura 2. Variedades de queso clasificadas en superfamilias según el método de coagulación y subdivididas con base a los principales agentes de maduración y/o tecnología característica (McSweeney y col., 2017).

### I.3 Queso Chihuahua

En Chihuahua se elabora un queso tradicional por la influencia de los Menonitas. El queso ranchero de Chihuahua, como se conocía, ha cambiado al nombre genérico, Chihuahua, debido a la gran influencia que la fabricación Menonita ha tenido en el mercado, con procesos y sabores diferentes al original. El origen de este queso se encuentra íntimamente ligado con la inmigración de los Menonitas a México. Estas comunidades aprendieron a hacer queso y aproximadamente desde 1936 emprendieron el negocio de la producción masiva de este producto (Castro, 2001).

Desde entonces han ido mejorando el ganado lechero, haciendo de mejor calidad la ordeña y perfeccionando la manera de hacer queso. La influencia de los Menonitas en el desarrollo del queso que se produce en Chihuahua ha sido tan grande que

también se le conoce como queso Menonita. No obstante, en las comunidades Menonitas se le llama queso Chester o queso Cheddar. Fuera del estado este queso se reconoce como queso Chihuahua y de esta forma el producto se apropia de su nombre (Castro, 2001).

Las especificaciones fisicoquímicas para el queso Chihuahua son de un máximo de 45 % de humedad, 26 % de grasa butírica como mínimo, un mínimo de 22 % de proteínas lácteas, 55 % mínimo de sólidos totales, 6.5 % máximo de cenizas y un pH de 5.0 a 5.5 (NMX-F-209-1985). Sin embargo, el queso Chihuahua presenta variaciones en intervalos muy amplios de su composición. Estas variaciones hacen a este producto difícil de caracterizar y definir como un queso étnico y único en su tipo (Van Hekken & Farke, 2003). El queso Chihuahua debe estar exento de microorganismos patógenos, toxinas microbianas, inhibidores microbianos, u otras sustancias que puedan afectar la salud del consumidor o provocar el deterioro del producto. Finalmente, este tipo de queso presenta capacidad de fundido, que es la capacidad de pasar de un estado semisólido a uno semilíquido cuando se eleva la temperatura, es decir se comporta como un fluido (Altan, 2005).

#### I.4 Análogos de queso

Los productos de imitación/sustitución de queso se clasifican arbitrariamente en tres categorías: (a) Quesos análogos, (b) Quesos rellenos y (c) Quesos a base de tofu. Los quesos análogos son generalmente referidos a aquellos donde se mezcla agua, grasas, proteínas, agentes emulsionantes, hidrocoloides, agentes acidificantes, conservantes y otros aditivos alimentarios en una matriz homogénea de tipo queso. Especialmente, la proteína y la grasa de la leche se sustituyen parcial o totalmente por proteínas vegetales (por ejemplo, proteína de cacahuete, proteína de soja) y grasas o aceites vegetales (por ejemplo, grasa vegetal parcialmente hidrogenada como la de soya, etc.; Masotti y col., 2018).

La producción de quesos análogos se ha expandido a gran escala en los últimos años, desarrollando productos similares en atributos físicos y sensoriales a los naturales con el fin de satisfacer la demanda por parte de los consumidores en el

mercado de lácteos y reducir costos de fabricación. Es aquí donde pueden clasificarse los productos similares en quesos análogos y quesos rellenos de grasa, dominando el primero sobre el otro (Masotti y col., 2018).

En los análogos del queso, distintos ingredientes pueden ser usados con la finalidad de imitar atributos físicos y sensoriales del queso convencional, es así como distintos investigadores y productores han desarrollado modelos de análogos de queso, tal como Bachmann (2001) permite observar en la Figura 3, analizando los 3 principales enfoques para análogos de queso.

La clasificación también puede basarse en los ingredientes utilizados y en los procedimientos de fabricación seguidos (Fox y col., 2000), mostrando a los análogos del queso en tres grupos: lácteos, quienes usan caseína y aceite de mantequilla; parcialmente lácteos, aquellos donde la grasa es principalmente aceite vegetal, por ejemplo, aceite de soja, aceite de palma, y donde la proteína es a base de lácteos, generalmente caseína y/o caseinato; y los no lácteos, en los que tanto la grasa como las proteínas son de origen vegetal, tal como se muestra en la Figura 3.

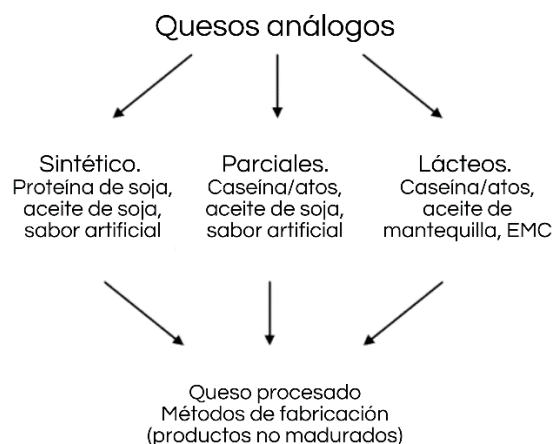


Figura 3. Diversos enfoques aplicados para el desarrollo de análogos de quesos adaptado de Bachmann (2001).

Los análogos del queso se formulan y producen con las propiedades nutricionales, funcionales y de almacenamiento deseadas según las necesidades del mercado y del consumidor. Un ejemplo de queso análogo es el queso para pizza, el cual es



fabricado de manera similar que un queso procesado, contando con aplicación tanto en el horneado como cobertura de la pizza, pero también como rebanadas en hamburguesas (McSweeney y col., 2017).

El grado de secuestación de calcio y de agregación de la paracaseína se controla mediante el uso de una mezcla correcta de sales emulsionantes para obtener el grado deseado de hidratación / agregación de la caseína y de emulsión de la grasa en la preparación análoga. Los quesos de pizza análogos a base de caseína son funcionalmente más estables que el queso Mozzarella natural durante el almacenamiento (McSweeney y col., 2017).

#### 1.4.1 Proceso de elaboración de análogos de queso

La elaboración de quesos análogos es similar a la de los quesos procesados, siendo relativamente más simple en comparación con la de los naturales. Los pasos principales del procesamiento consisten en la formulación, mezcla, calentamiento y corte, envasado en caliente y enfriamiento (Masotti y col. 2018).

En aras de la simplicidad, el diagrama de flujo del proceso para la preparación de quesos análogos se presenta en la Figura 3<sup>a</sup>. Y para comparar, también se presenta el diagrama de elaboración de un queso tradicional (Figura 3b). La adición de ingredientes puede variar en función de las prácticas de la planta, el diseño de la planta, el tipo de ingredientes, parámetros de procesamiento y rendimiento de uso final esperado en el producto de queso (Masotti y col., 2018).

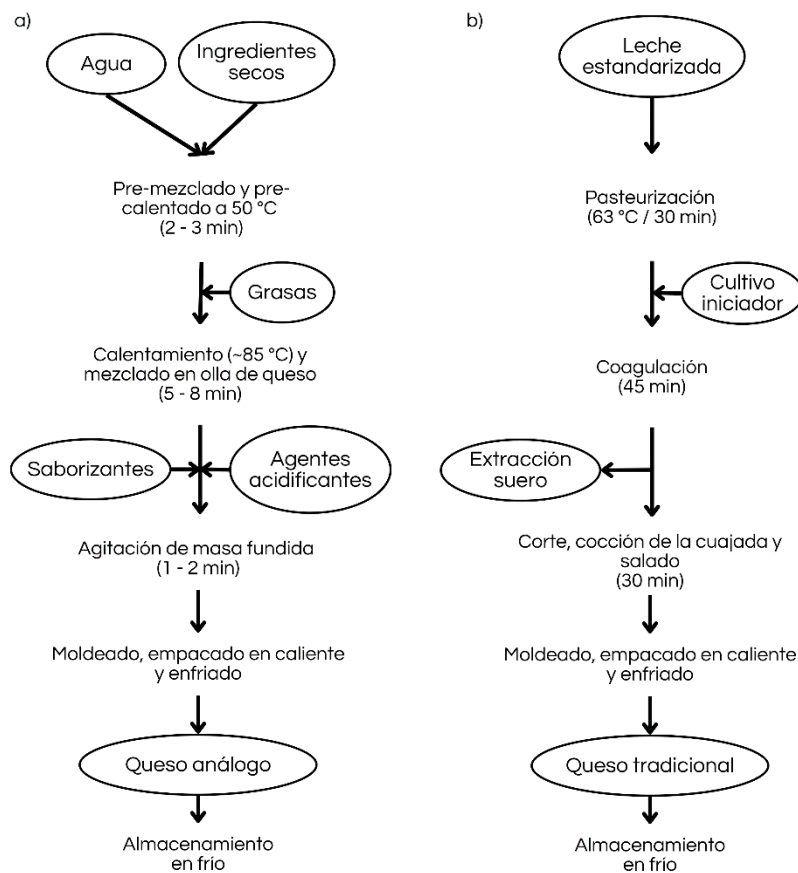


Figura 4. A) Diagrama de flujo general para la elaboración de quesos análogos (Masotti y col., 2018); b) Diagrama de flujo general para la elaboración de quesos tradicionales (Nars, 2019).

#### I.4.2 Ventajas y desventajas de la elaboración de quesos análogos

Los quesos análogos muestran diversas ventajas sobre los quesos tradicionales, siendo la principal que son susceptibles a la incorporación de agentes funcionales dentro de su formulación, mostrando con ello una mejora en sus propiedades organolépticas y de almacenaje. Adicionalmente a ello, los análogos de queso cuentan con una gran oportunidad en el mercado, representando un campo no solo benéfico para la salud, sino también personalizable para los consumidores, adaptando la composición para la obtención de distintas funcionalidades (textura, cocción). Sin embargo, Masotti y col. (2018) mencionan que los análogos de queso

se producen en cantidades bajas debido a sus altos costos de fabricación, a causa de proceso de preparación y la reconstitución de los ingredientes.

#### 1.5 Uso de carbohidratos en la elaboración de análogos de queso

Los carbohidratos son grupos orgánicos conformados por carbono, hidrógeno y oxígeno, dentro de su clasificación se hallan los polisacáridos, carbohidratos formados por largas cadenas de unidades repetitivas unidas entre sí por enlaces glucosídicos. Existen diversos polisacáridos, como la inulina y los almidones modificados, que se han visto aplicados en la elaboración de quesos análogos, quienes han ayudado a la reducción del contenido de grasa de estos. En cuanto a los almidones modificados son un ejemplo de almidones resistentes, que en los últimos tiempos se consideran prebióticos (Kamath y col., 2022).

El almidón, siempre y cuando sea permitido por la reglamentación, cuenta con un papel importante en la fabricación de quesos procesados y análogos, contribuyendo al cuerpo y la textura del queso, además de proporcionar otros atributos funcionales. Con una gran selección de almidones en el mercado de diferentes fuentes y modificaciones, el desafío para los fabricantes de queso es identificar el adecuado, que se ajuste a sus condiciones de procesamiento y brinde los atributos funcionales correctos en su producto final (APFI, 2017). Los almidones modificados se han utilizado ampliamente en la industria alimentaria debido a su capacidad de mejorar y controlar las propiedades funcionales y la viscosidad de aquellos productos en donde se aplique, siendo una de las principales la producción de análogos de queso (Wei y Nakamura, 2018).

En un estudio realizado por Butt y col. (2020), aplicando almidones nativos y modificados de arroz para reemplazar parcialmente la proteína y la grasa en la producción de queso análogo, comparando con el queso convencional, se observó los análogos eran más blandos, más cohesivos y tenían propiedades de fusión mejoradas en comparación con el control.

### I.5.1 Almidón de fuentes no convencionales

El almidón representa una fracción significativa en una gran variedad de cultivos. Las legumbres como el garbanzo, frijol, chícharo y haba tienen un contenido de almidón de 25 a 50 % y son consideradas como alternativas no convencionales (Santana y col., 2014). Los almidones de diferentes fuentes botánicas varían en el tamaño del gránulo y composición (porcentaje de almidón resistente, amilosa y amilopectina), y estos factores influyen en las propiedades físicas y usos finales de los diferentes almidones (Qi y Tester, 2019).

El haba es una de las leguminosas más importantes, seguida del chícharo, garbanzo y lenteja (FAOSTAT, 2018). Esta legumbre es una rica fuente de carbohidratos y el principal hallado en su composición, es el almidón con un 22-45 %. Debido a su mayor contenido de almidón resistente (12 %), contenido de amilosa (40 %) y pequeño tamaño de gránulo (16-22  $\mu\text{m}$ ), el almidón de haba ha sido ampliamente sugerido como alternativa no convencional para su uso en la microencapsulación al utilizarse como material de pared (Punia y col., 2019).

La lenteja es otra leguminosa de gran importancia y según la FAO (2010), su producción mundial total es de 4.58 millones de toneladas métricas; cuenta con alrededor de 69 % de carbohidratos y la mayoría de los cuales están presentes en forma de almidón (Joshi y col., 2013). Ramdath y col. (2020) mencionan que los carbohidratos disponibles en la lenteja se clasifican en tres fracciones principales de importancia nutricional: almidón de digestión rápida (RDS), almidón de digestión lenta (SDS) y almidón resistente (RS). Es así que observaron que, en comparación con las fibras tradicionales, RS proporciona una mejor apariencia, textura y sensación en la boca, ofreciendo así mejores propiedades sensoriales y aceptabilidad del consumidor de los productos finales (Ramdath y col., 2020).

Debido a que el uso de almidones nativos presenta limitaciones funcionales, una solución es modificar los almidones utilizando métodos químicos, físicos y/o enzimáticos para mejorar sus propiedades (Li y col., 2019).

## I.6 Modificaciones de los almidones

La modificación es el resultado de un tratamiento físico o químico aplicado para cambiar una o más de las propiedades del almidón nativo. Las modificaciones químicas incluyen procesos como la conversión, sustitución o ligaciones cruzadas y este tipo de almidones son usados en la estabilización de emulsiones y encapsulación, siendo la succinatación para la obtención de almidón octenilsuccinato (almidón OSA) una de las modificaciones químicas más comunes (Sjöo y Nilsson, 2017).

### I.6.1 Almidones succinatados

El almidón modificado OSA obtiene una actividad superficial específica incorporando los grupos alqueno lipófilos de OSA en la molécula de almidón hidrófilo, que es la porción lineal de la amilosa y la porción ramificada de la amilopectina. Por lo tanto, la modificación del almidón con OSA da como resultado propiedades estabilizadoras, interfaciales, térmicas, reológicas, y puede usarse como material de pared en la encapsulación (No y Shin, 2019). La Food and Drug Administration (FDA, por sus siglas en inglés) ha permitido el tratamiento con un máximo de 3 % de almidón OSA para aplicaciones alimentarias (grado de sustitución 0.02) (Ovando-Martinez y col., 2017).

### I.6.2 Extrusión reactiva para la obtención de almidón OSA

La tecnología de extrusión es un proceso que presenta grandes ventajas en relación a otros procesos, como gran versatilidad, fácil operación, bajo costo, producción continua y propiedades físicas uniformes, alta capacidad de producción por unidad de área, ausencia de efluentes, tiempos cortos de proceso, y como principal ventaja, la acción continua de operaciones unitarias (mezcla, cizallamiento, cocimiento, secado y texturización), en un único, eficiente y rápido proceso (Watano y col., 2002; Ye y col., 2018). Debido a que el procesamiento de extrusión implica condiciones de alta fuerza (cizalla) y presión, la gelatinización se logra a baja concentración de humedad, ya que las fuerzas de cizalla rompen físicamente los gránulos de almidón, permitiendo una transferencia más rápida de agua a las moléculas. Por lo tanto,

durante la extrusión, la pérdida de cristalinidad no es causada por la penetración del agua, sino por la interrupción mecánica de los enlaces moleculares debido a los intensos campos de cizallamiento dentro del extrusor. De hecho, durante la extrusión a baja humedad, pequeñas cantidades de almidón gelatinizado y fundido, así como la fragmentación del almidón (también degradación o descomposición), existen simultáneamente (Liu y col., 2009).

Recientemente la extrusión ha sido usada como reactor químico de un solo paso para producir almidones modificados (Tian y col., 2015). Los cambios que sufre el material se realizan dentro del cañón del extrusor, con ayuda del tornillo sinfín. Bajo las condiciones de extrusión, los gránulos de almidón son hidrolizados (dextrinización) conforme pasan a través del extrusor por la temperatura y acción mecánica y al mismo tiempo se llevan a cabo las reacciones de esterificación (Figura 4). El almidón resistente ha demostrado tener una importante estabilidad a temperaturas elevadas ( $>90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Martínez y col., 2015).

La extrusión reactiva de un paso se ha utilizado en almidón de maíz para la esterificación mediante anhídrido dodecenil succínico (Tian y col., 2015), almidón de arroz esterificado con ácido cítrico (Ye y col., 2019) y almidón de arroz esterificado con anhídrido octenil succínico (Cai y col., 2019).

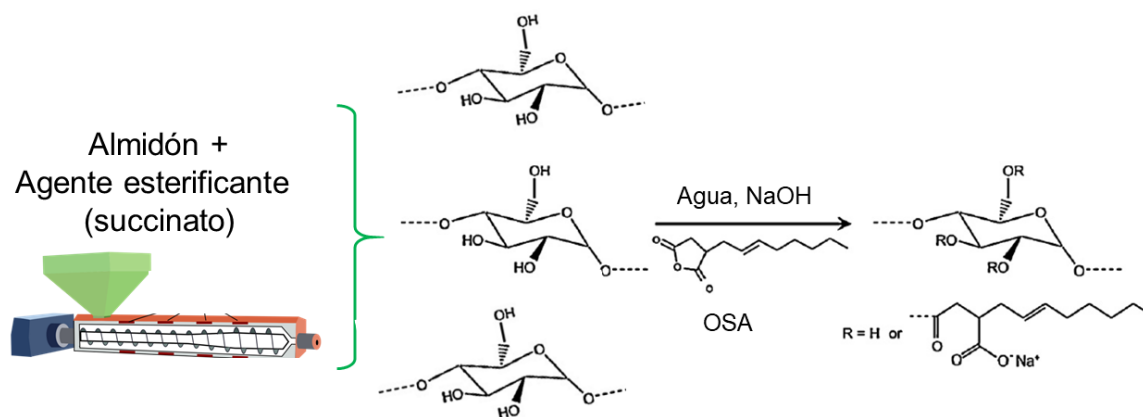


Figura 5. Extrusión reactiva para la obtención de almidones OSA (Modificada de Altuna y col., 2018).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 General**

Elaborar un análogo de queso Chihuahua mediante la adición de almidón modificado por extrusión reactiva y evaluar sus características fisicoquímicas.

### **2.2 Específicos**

- Evaluar las propiedades funcionales de los almidones de haba y lenteja hidrolizados y esterificados mediante extrusión reactiva, determinando sus propiedades físicas y químicas.
- Evaluar el proceso de elaboración del análogo de queso Chihuahua usando almidón modificado.
- Evaluar la composición y características fisicoquímicas del análogo de queso Chihuahua.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **III.1 Métodos**

##### **III.1.1 Extracción del almidón**

Los granos de leguminosa (lenteja y haba) se molieron en un molino granulador con sistema de cuchillas y malla integrada para la obtención de un polvo fino (harina). La extracción del almidón se realizó mediante lo descrito por Li y col. (2019) con algunas modificaciones. La harina (~ 300 g) se suspendió en 750 mL de agua destilada y se agitó durante 1 h. Después, el sobrenadante se decantó cuidadosamente, la capa de proteína en la parte superior del precipitado se eliminó manualmente con una espátula, esta etapa de eliminación de proteínas se repitió dos veces. El sedimento se resuspendió en 600 mL de agua destilada, se adicionó NaOH 0.5 M y se agitó durante 1 h para solubilizar las proteínas restantes. La suspensión se dejó reposar 12 h a temperatura ambiente. Posteriormente se realizó una molienda húmeda con un molino de piedras (FUMASA), la suspensión obtenida se tamizó en mallas de 30, 100 y 200 standard sieve (U.S.) y los residuos retenidos en cada malla se lavaron con agua para recuperar la mayor parte de almidón, en esta etapa se logró la separación de fibra y proteínas solubles. El almidón se dejó reposar toda la noche a 5 °C con bisulfito de sodio al 0.2 %, se retiró el sobrenadante y se secó el residuo (almidón nativo) a 40 °C en un horno de convección durante 24 h. El almidón seco se molió y tamizó en malla 100 (U.S.). La extracción del almidón se realizó por triplicado.

##### **III.1.2 Caracterización del almidón**

###### **III.1.2.1 Análisis proximal**

Las determinaciones de humedad (925.09), proteína (979.09) y grasa (923.05) se realizaron por triplicado de acuerdo con lo descrito en la A.O.A.C (2000).

###### **III.1.2.2 Contenido de almidón resistente**

La concentración de almidón resistente se realizó mediante un kit enzimático de acuerdo con las especificaciones del proveedor (Megazyme K-RSTAR). Determinaciones realizadas por triplicado.



### III.1.2.3 Perfil de viscosidad

El perfil de viscosidad se evaluó por triplicado usando un equipo Rapid Visco Analyzer (RVA) modelo Super 4 (Newport Scientific PTY Ltd., Sydney, Australia). Se pesaron 2 g de muestra (BS) y se adicionaron 28 mL de agua destilada. Las mediciones se realizaron de acuerdo con las especificaciones del método de la AACC 61-02 (1999). La temperatura inicial (50 °C) se mantuvo durante 1 min y posteriormente se elevó a 92 °C a una velocidad de calentamiento de 5.5 °C/min. Una vez alcanzada la temperatura indicada, esta se mantuvo constante durante 5 min; el enfriamiento se llevó a cabo a la misma velocidad de calentamiento hasta alcanzar una temperatura final de 50 °C, que se mantuvo por 2 min. El tiempo total de corrida fue de 23 min. Los resultados obtenidos del equipo se expresaron en unidades de viscosidad (cP).

### III.1.2.4 Calorimetría diferencial de barrido

Las propiedades térmicas fueron realizadas por triplicado mediante un calorímetro diferencial de barrido (DSC Mettler Toledo, modelo 821). Se pesaron 3 mg de muestra molida con tamaño de partícula de 250 µm (cribada con malla de 60 mesh) y 7 mg de agua destilada fueron colocados en un crisol de aluminio de 40 µL, posteriormente fueron sellados. El crisol se colocó en el equipo; la muestra fue sometida a una rampa de calentamiento de 30 a 100 °C, con una tasa de 10 °C/min. Del termograma obtenido se determinaron los siguientes parámetros: temperatura de inicio ( $T_o$ ), temperatura final ( $T_c$ ), temperatura de pico ( $T_p$ ), así como la entalpía de gelatinización ( $\Delta HG$ ) (Narváez y col., 2007).

### III.1.3 Extrusión reactiva del almidón

El almidón (lenteja o haba) se acondicionó a un contenido de humedad de 25 % y se adicionó una concentración de 3 % de reactivo anhídrido octenil succínico (OSA, base seca), posteriormente el pH fue ajustado a 8.5 – 9 con una solución al 1 % de NaOH, la metodología se realizó de acuerdo con el método descrito por Tian y col.

(2015) con algunas modificaciones. El almidón control fue preparado sin reactivo OSA. Las muestras de almidón se procesaron en un extrusor de un solo tornillo. Las condiciones del extrusor fueron seleccionadas para obtener muestras extrudidas. Las temperaturas del barril se mantuvieron constantes a 60, 130 y 150 °C en las zonas de alimentación, transición y extrusión a alta presión, respectivamente. La relación de compresión del tornillo fue de 3:1 y se usó una boquilla de salida de 4.0 mm de diámetro. La velocidad del tornillo se mantuvo constante a 80 rpm y la velocidad de alimentación fue de 70 g/min. Las muestras extrudidas se secaron a 40 °C durante 24 h y se procesaron en un molino granulador con sistema de cuchillas y malla integrada (Pulvex) para así obtener el almidón succinatado de leguminosa (almidón-OSA). La modificación del almidón nativo se realizó por triplicado.

### III.1.4 Caracterización del almidón extrudido

#### III.1.4.1 Perfil de viscosidad

La metodología se realizó de acuerdo con lo descrito en el apartado 3.1.2.3.

#### III.1.4.2 Calorimetría diferencial de barrido

Las propiedades térmicas fueron realizadas por triplicado mediante un calorímetro diferencial de barrido (DSC Mettler Toledo, modelo 821). Se pesaron 3 mg de muestra molida con tamaño de partícula de 250  $\mu$ m (cribada con malla de 60 mesh) y 7 mg de agua destilada fueron colocados en un crisol de aluminio de 40  $\mu$ L, posteriormente fueron sellados. El crisol se colocó en el equipo; la muestra se sometió a una rampa de calentamiento de 30 a 100 °C, con una tasa de 10 °C/min. Del termograma obtenido se determinaron los siguientes parámetros: temperatura de inicio ( $T_o$ ), temperatura final ( $T_c$ ), temperatura de pico ( $T_p$ ) y entalpía de gelatinización ( $\Delta H_G$ ) (Narváez y col., 2007).

### III.1.5 Formulación y elaboración de análogo de queso Chihuahua

Se colocó un vaso de precipitado de 500 mL dentro de un baño de agua a 50 °C, agregando el 85 % del total de agua purificada requerida según la formulación del Cuadro 2. Se disolvió el almidón extrudido con apoyo de una espátula para facilitar

la agitación, así mismo se agregó la mitad de los caseinatos manteniendo en agitación la mezcla, se adicionaron los ingredientes y se añadió el 15 % de agua restante, así como la mitad restante de los caseinatos, manteniendo una agitación constante para la formación de una mezcla homogénea.

La mezcla fue vaciada a moldes de vidrio de 200 g que, posteriormente, se sumergieron en un baño a 74 °C sin que el agua rebasara el límite superior del molde. La cocción se mantuvo hasta que la temperatura interna del queso se mantuvo durante 30 s a 72 °C. Finalmente, se sometió a un choque térmico, colocándolo en un baño con hielo, se empaquetó en bolsas estériles y se almacenó a 4 °C durante 24 h. Para calcular el rendimiento se pesó el total del queso obtenido y se determinó tomando en cuenta los gramos totales de la formulación para cada tratamiento. Cada formulación se realizó por triplicado.

Cuadro 2. Formulación para la elaboración de un análogo de queso Chihuahua.

Ingrediente	Composición de un análogo	Formulación análogo 1	Formulación análogo 2
Caseinato de calcio	20 %	20 %	20 %
Leche descremada en polvo	10 %	10 %	10 %
Grasa butírica	18 %	15 %	13 %
Almidón extrudido*	0 %	3 %	5 %
Sal	1.2 %	1.2 %	1.2 %
Agua	50 %	50 %	50 %
Saborizante queso Chihuahua	0.8 %	0.8 %	0.8 %
Colorante amarillo	0.001 %	0.001 %	0.001 %
Total	100 %	100 %	100 %

\*Se realizarán las formulaciones 1 y 2 del queso análogo para cada almidón.

### III.1.6 Determinaciones en el análogo de queso Chihuahua

#### III.1.6.1 Análisis proximal

La metodología se realizó de acuerdo con lo descrito en el apartado 3.1.2.1.

#### III.1.6.2 Textura

El análisis del perfil de textura (TPA) se realizó por triplicado utilizando una sonda cilíndrica de punta plana (P/2 SL) de 2 cm de altura, 2 cm de anchura y 3 cm de longitud. Tres secciones de bloque (de 2 cm de altura, 2 cm de anchura y 3 cm de longitud) de muestra de queso se comprimieron en un 75 % dos veces utilizando una velocidad transversal de 0.05 cm/s. La segunda compresión se retrasó 5 segundos desde la primera compresión. La dureza, fracturabilidad, adhesividad, elasticidad y cohesión fueron calculadas por el instrumento de software llamado Texture Exponent (Stable Micro System, Londres, Inglaterra) (Gutiérrez – Méndez y col., 2013).

#### III.1.6.3 Análisis de color

Los parámetros de luminosidad ( $L^*$ ), índice rojo-verde ( $a^*$ ) e índice amarillo-azul ( $b^*$ ) se midieron con un espectrocolorímetro MiniScan HunterLab. Determinación realizada por triplicado.

#### III.1.6.4 Análisis de fundido

Se cortaron cilindros de queso para el análisis. Cada disco de 2 cm de queso se colocó en una placa Petri de vidrio Pyrex de 100 de vidrio Pyrex de 100 × 15 mm; se calentaron durante 5 minutos a 100, 120 y 140 °C, realizándolo por triplicado en cada temperatura. Tras el enfriamiento, se realizó la prueba Schreiber Melt (Kosikowski, 1997) para medir la extensión media del flujo de los discos de queso en una serie de círculos concéntricos. Un valor de 1.0 cm indica que no se produce ningún cambio en diámetro del disco, y el valor aumenta en 1.0 cm del diámetro.

### III.1.7 Diseño experimental y análisis estadístico

Para la comparación de almidones de haba versus almidones de lenteja, se realizaron análisis de varianza de un diseño unifactorial con tres réplicas

completamente aleatorizado donde el factor era el tipo de almidón. Para la elaboración del análogo de queso Chihuahua se realizó un diseño unifactorial con tres réplicas completamente aleatorizado, donde el factor correspondió a uso de dos distintos % de sustitución (3 y 5%) para cada caso de almidón (haba o lenteja). El reemplazo parcial de la grasa por almidón modificado se muestra en el Cuadro 2. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 % y comparaciones múltiples por medio de la prueba de Tukey.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización de los almidones nativos

#### 4.1.1. Análisis proximal

Los resultados del análisis proximal de los almidones nativos de haba y lenteja se muestran en el Cuadro 3. En la determinación de humedad y grasa se presentaron resultados significativamente diferentes, siendo mayores en el almidón nativo de haba, esto pudo ser debido a las características intrínsecas de las semillas. En cuanto a la determinación de proteína no se presentaron resultados estadísticamente diferentes entre ambos almidones. La humedad de ambos almidones está dentro del rango obtenido para almidón nativo de leguminosas de acuerdo con Hoover y col. (2010) y según lo reportado por González-Mendoza y col. (2022) para el almidón nativo de haba. Los resultados de grasa previamente reportados para almidón de haba por González-Mendoza y col. (2022), Haase y Shi (1991) y Fornal y col. (1985) fueron 2.0 % 1.1-1.4 % y 1.63 % respectivamente, estos resultados fueron menores a lo encontrado en este trabajo. Respecto a proteína, se ha reportado para almidón de haba y lenteja de 0.1 % hasta 0.9 % (González-Mendoza y col. 2022; Li y col., 2019; Zhang y col., 2019; Doublier, 1987; Joshi y col., 2013; Majeed y col., 2017). Las diferencias presentadas entre los resultados previamente reportados y los obtenidos se puede deber al proceso usado para la extracción del almidón. Obtener valores de proteína y grasa más altos en los almidones nativos a los reportados previamente, es de gran importancia debido a que el almidón nativo sustituye a la leche en los análogos del queso (Bachmann, 2001).

Cuadro 3. Análisis proximal de los almidones nativos de haba y lenteja.

Almidón Nativo	Humedad (%)	Grasa (%)	Proteína (%)
AN-Lenteja	6.92 ± 0.46 <sup>b</sup>	1.86 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.02 ± 0.11 <sup>a</sup>
AN-Haba	8.15 ± 0.19 <sup>a</sup>	2.00 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.96 ± 0.19 <sup>a</sup>

AN-Lenteja=Almidón nativo de lenteja; AN-Haba=Almidón nativo de haba. n=3 réplicas, ensayos realizados por triplicado. Media ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha=0.05$ ). Prueba de Tukey.

#### 4.1.2. Contenido de almidón resistente

En el Cuadro 4 podemos observar los porcentajes de almidón resistente presentes en cada uno de los almidones nativos de haba y lenteja, siendo significativamente mayor en el almidón nativo de haba. El almidón resistente se refiere a la fracción de almidón dietético y a los productos de degradación del almidón que no son absorbidos en el intestino delgado (Sajilata y col., 2006). El almidón resistente presenta beneficios multifacéticos en la salud debido a su papel importante en la modulación del microbiota intestinal, mejora la salud intestinal, en particular el síndrome metabólico, el control de peso, la obesidad, la diabetes y el control glucémico (Chen y col., 2024).

Cuadro 4. Contenido de almidón resistente en el almidón nativo de lenteja y haba.

Almidón Nativo	AN-Lenteja	AN-Haba
Almidón resistente (%)	8.08 ± 0.86 <sup>b</sup>	11.41 ± 1.33 <sup>a</sup>

AN-Lenteja=Almidón nativo de lenteja; AN-Haba=Almidón nativo de haba 2. n=3 réplicas, ensayos realizados por triplicado. Media ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha=0.05$ ). Prueba de Tukey.

El almidón resistente en el almidón nativo de haba fue mayor a lo reportado previamente por Escobar (2008) y por Bello-Pérez y col. (2007) donde se obtuvo 2.9 % y 33 a 65 g kg<sup>-1</sup> respectivamente. Para otros autores el valor obtenido se encuentra dentro de los resultados reportados por González-Mendoza y col. (2022) y Ambigapailan y col. (2011) en diferentes variedades de haba. El almidón de lenteja presentó un porcentaje mayor de almidón resistente a lo reportado por Remya (2018, 5.2 %); sin embargo, los resultados son similares a los reportados por Chung y col. (2009) y Chen y col. (2024). El porcentaje de almidón obtenido en ambas leguminosas es mayor y pudiera deberse a la forma de extracción del almidón, así como a la manera en que se cuantifica dicho almidón resistente. Obtener mejores resultados de almidón resistente de acuerdo a lo reportado por algunos autores previamente, puede ser beneficioso debido a que se ha observado que el almidón

resistente proporciona una mejor apariencia, textura y sensación en la boca, lo que ofrece mejores propiedades sensoriales y aceptabilidad del consumidor, debido a las propiedades fisicoquímicas que presenta como la hinchazón, aumento de la viscosidad, formación de gel y capacidad de retención de agua (Ramdath y col., 2020).

#### 4.1.3. Perfil de viscosidad

Los resultados del perfil de viscosidad de los almidones nativos de lenteja y haba se muestran en la Figura 6 y Figura 7, respectivamente. La viscosidad se refiere a la facilidad de un líquido para fluir, cuando el almidón nativo de haba o lenteja entra en contacto con el agua comienza el hinchamiento de los gránulos, al aumentar la temperatura se inicia la gelatinización en donde se logra el hinchamiento de todos los gránulos, por lo tanto, la viscosidad aumenta gradualmente hasta que llega a una viscosidad máxima. La gelificación es el fenómeno que sigue de la gelatinización en la disolución del almidón, donde se produce un hinchamiento irreversible de los gránulos de almidón, la lixiviación de moléculas lineales de amilosa y la solubilización de moléculas de amilopectina de cadena ramificada, formando así una pasta de almidón (Ambigaipalan y col., 2011).

La temperatura de pastificación, es la temperatura a la cual la viscosidad comienza a aumentar y los granos comienzan a hincharse. Para el almidón nativo de haba esta temperatura fue de  $72.4 \pm 0.59$  °C y para el almidón nativo de lenteja de  $72.6 \pm 0.38$  °C. Y la viscosidad máxima (punto en el que la mitad de los granos están totalmente hinchados) observada para los almidones nativos de haba y lenteja fue de  $965.6 \pm 21.47$  cP y  $845.1 \pm 23.54$  cP respectivamente. El comportamiento presentado de los almidones nativos fue similar a lo reportado por González-Mendoza y col. (2022), Escobar (2008), Li y col. (2019), Cai y col. (2014) y Zhang y col. (2019) para almidón de haba y para almidón de lenteja Joshi y col. (2013), Li y col. (2019), Li (2016), Hoover y col. (2010), Remya (2018) y Majeed y col. (2017).



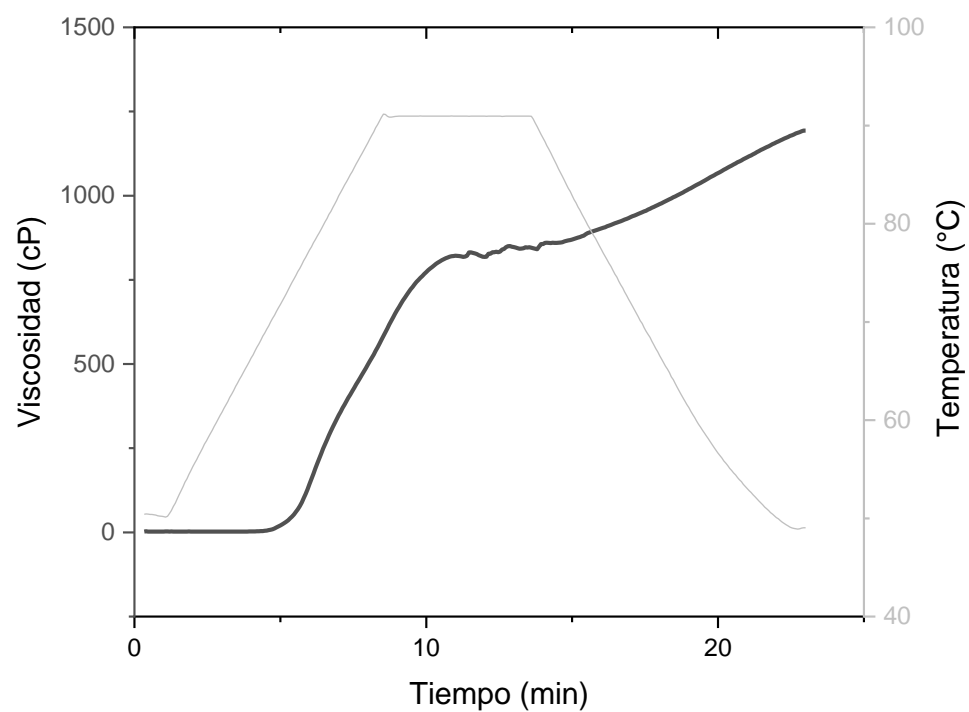


Figura 6. Perfil de viscosidad del almidón nativo de lenteja.

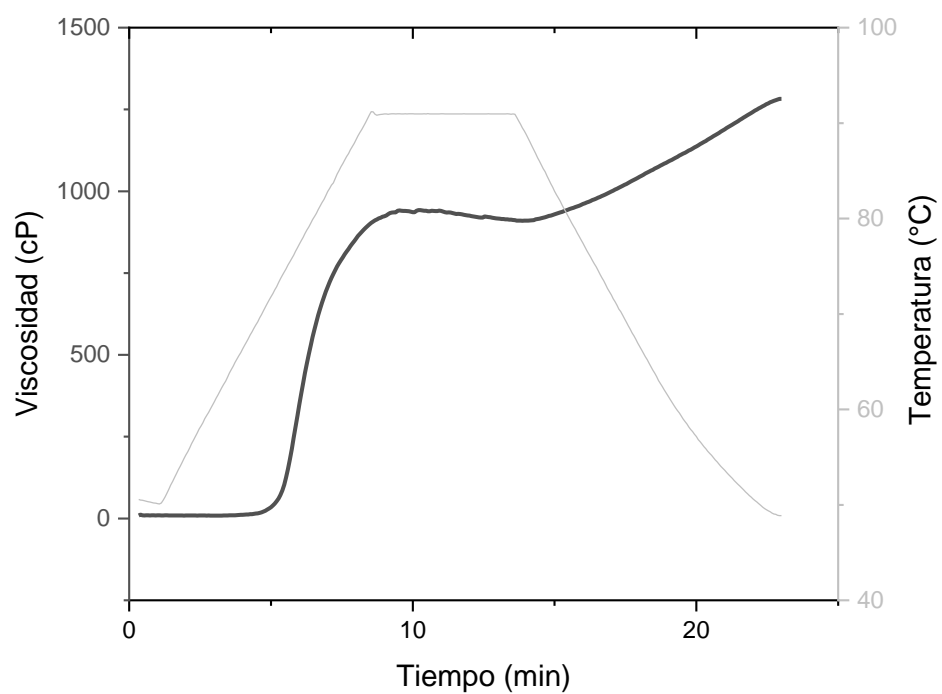


Figura 7. Perfil de viscosidad del almidón nativo de haba.

#### 4.1.4. Calorimetría diferencial de barrido

El perfil térmico para los almidones nativos de lenteja y haba se presentan en la Figura 8 y 9, respectivamente. El almidón es sensible a la presencia de agua, cuando esta está presente en exceso, la hidratación del almidón nativo ocurre lo que da como resultado un pico endotérmico en el perfil térmico de los almidones nativos, que corresponde a la modificación de la estructura del almidón nativo (Zhang y col., 2019). Se puede observar en la Figura 8 que el almidón nativo de lenteja presenta menor temperatura de gelatinización, por lo tanto, se requiere menos energía para cambiar su estructura.

La entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ) representa el número de doble hélices que se desenredan y funden durante la gelatinización, a su vez refleja la cristalinidad general de la amilopectina (calidad y cantidad de cristalitos de almidón; Ambigaipalan y col., 2011). La entalpía obtenida para el almidón nativo de haba fue de  $10.53 \pm 0.693$  J/g y para el almidón nativo de lenteja de  $11.16 \pm 0.445$  J/g. Las temperaturas de transición de la gelatinización temperatura inicial ( $T_i$ ), temperatura del punto medio ( $T_p$ ) y temperatura final ( $T_f$ ) son influenciadas por la arquitectura molecular de la región cristalina que corresponde a la distribución de cadenas cortas de amilopectina y valores bajos reflejan la abundante presencia de cadenas cortas de amilopectina (Hoover y col., 2010). Las temperaturas obtenidas para almidón de haba fueron  $T_i$   $63.85 \pm 0.262$  °C,  $T_p$   $68.36 \pm 0.099$  °C y  $T_f$   $73.32 \pm 0.042$  °C y  $T_i$   $59.94 \pm 0.163$  °C,  $T_p$   $66.97 \pm 0.742$  °C y  $T_f$   $74.82 \pm 0.191$  °C para almidón de lenteja. El comportamiento presentado por los almidones nativos es similar a lo reportado por González-Mendoza y col. (2022), Escobar (2008), Karaman (2017), Li y col. (2019), Ambigaipalan y col. (2011), Cai y col. (2014) y Zhang y col. (2019) para almidón de haba y Karaman (2017), Li y col. (2019), Lu (2017), Remya (2018), Hoover y col. (2010) y Chung y col. (2009) para almidón de lenteja.

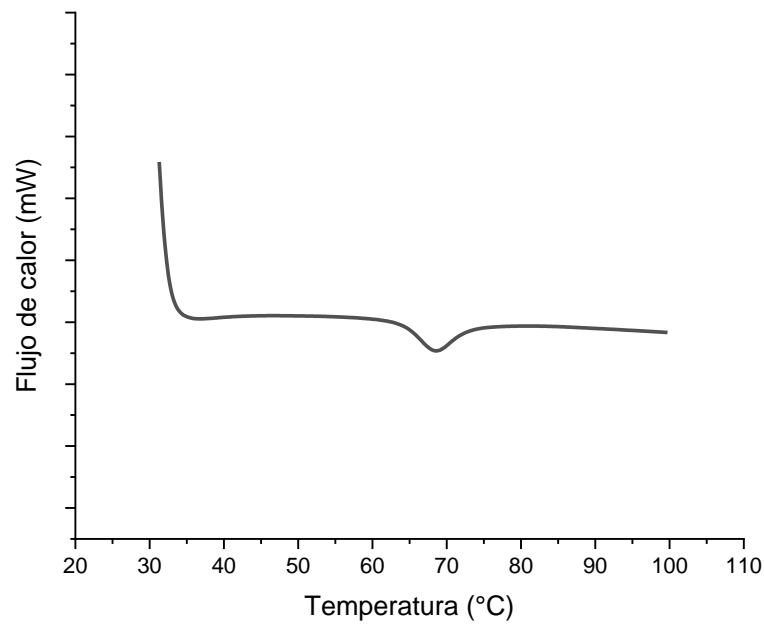


Figura 8. Perfil térmico del almidón nativo de lenteja.

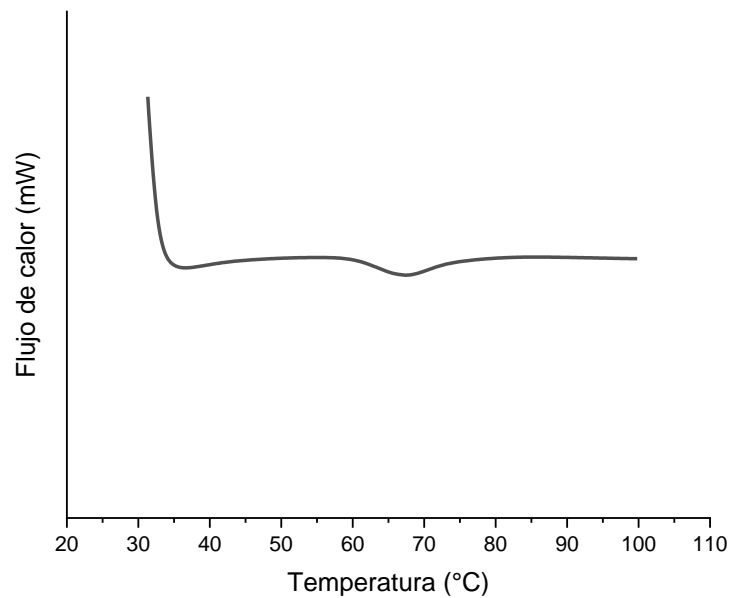


Figura 9. Perfil térmico del almidón nativo de haba.

## 4.2. Caracterización del almidón extrudido

### 4.2.1. Perfil de viscosidad

En la Figura 10 y 11 se pueden observar los perfiles de viscosidad de los almidones nativos, almidones extrudidos sin esterificar y almidones extrudidos OSA, tanto para

lenteja (Figura 10) y haba (Figura 11). El proceso de esterificación se ha usado en un amplio rango de áreas industriales, especialmente en la producción alimenticia debido a sus propiedades estabilizadoras de emulsión (Hong y col., 2016.) El almidón OSA es uno de los ésteres de almidones más utilizados y es una especie de espesante emulsionante seguro y confiable. Cuando el OSA reacciona con el almidón, el anillo del anhídrido se abre en condiciones alcalinas donde un extremo se combina con NaOH para formar una sal de sodio, mientras que el otro extremo reacciona con el almidón y elimina una molécula de agua. El pH de la reacción se reduce continuamente según avanza la reacción, por lo que se requiere ajustar el pH a 8.5-9 con una solución alcalina (NaOH 1%) para garantizar el pH del sistema de reacción y se desarrolle eficientemente. Las reacciones de esterificación e hidrólisis se llevan a cabo simultáneamente. La reacción de esterificación predomina al comienzo de la fase de reacción y continúa hacia la de esterificación; cuando la reacción alcanza cierto tiempo, la de hidrólisis domina la disminución de la concentración del sustrato (Tian y col., 2018).

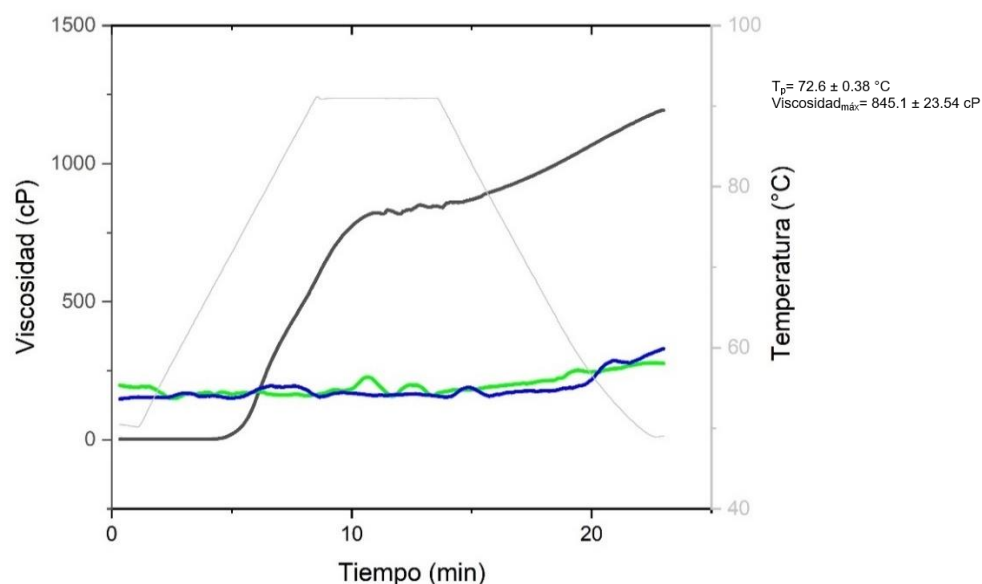


Figura 10. Perfil de viscosidad del almidón de lenteja. Línea negra, almidón nativo; línea verde, almidón extrudido sin esterificar; línea azul almidón extrudido OSA.

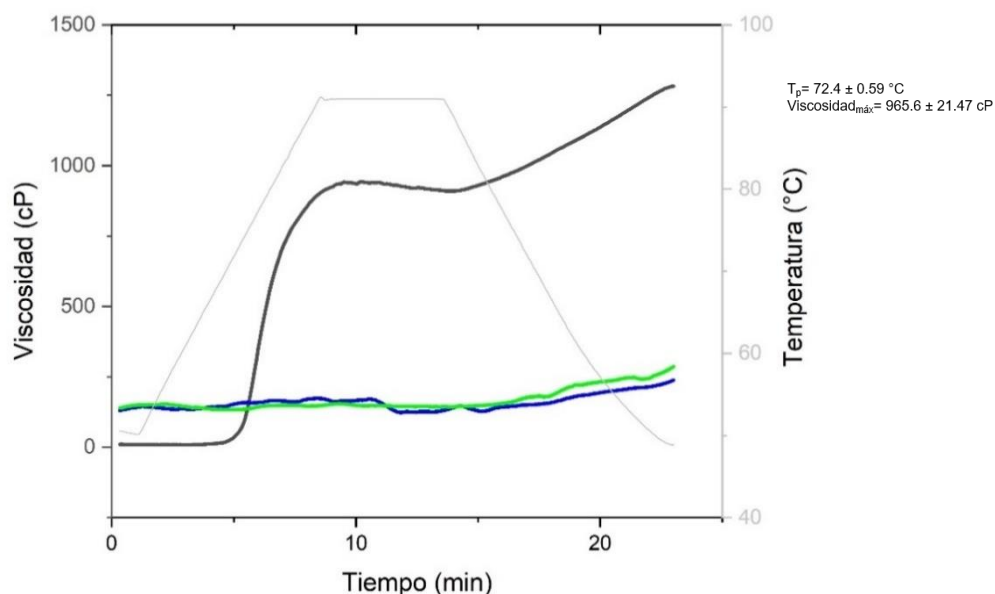


Figura 11. Perfil de viscosidad del almidón de haba. Línea negra, almidón nativo; línea verde, almidón extrudido sin esterificar; línea azul almidón extrudido OSA.

Un perfil de viscosidad se puede utilizar para probar la degradación de los polímeros de almidón en componentes más pequeños. Las estructuras químicas primarias del almidón no son modificadas por la extrusión, por lo tanto, al observar una disminución en la viscosidad de los almidones extrudidos comparado con la viscosidad de los almidones nativos tanto de haba como de lenteja se puede determinar que corresponde al descenso del peso molecular correspondiente al almidón resiste y a los mono y oligosacáridos formados por la extrusión (Ramirez, 2017). El comportamiento de los almidones corresponde a lo reportado por González-Mendoza y col. (2022) para almidón de haba.

#### 4.2.2. FTIR

La espectroscopía FTIR del almidón extrudido sin esterificar y extrudido OSA de lenteja y haba se muestran en la Figura 12 y 13 respectivamente. Los picos presentados en aproximadamente  $3325$  y  $2935\text{ cm}^{-1}$  indican grupos hidroxilos (O-H) y enlaces C-H, respectivamente. Se detectan los 5 picos característicos entre  $800$  y  $1200\text{ cm}^{-1}$  para espectros de almidón reportados en almidón de haba por González-Mendoza y col. (2022) en aproximadamente  $996\text{ cm}^{-1}$  atribuido a los enlaces C-O de

los C-O-C de los polisacáridos, mientras que se atribuyen a enlaces C-O de los anillos de anhidroglucosa los picos cercanos a  $1078$  y  $1150\text{ cm}^{-1}$ , los picos cercanos a  $930\text{ cm}^{-1}$  corresponden a la vibración de los enlaces de  $\alpha$ -(1-4) glicosídicos y los cercanos a  $860\text{ cm}^{-1}$  a las deformaciones C-H y  $\text{CH}_2$ . El almidón extrudido muestra un pico característico de los compuestos carbonílicos ( $\text{-C=O}$ ) en  $1753$  y  $1749\text{ cm}^{-1}$ . En los espectros de almidón extrudido OSA de lenteja y haba apareció un nuevo pico de absorción a  $1562$  y  $1566\text{ cm}^{-1}$ , respectivamente, fue generado por el enlace del éster carbonilo y el pico de absorción característico del enlace éster, lo que indica la esterificación del almidón (Tian y col., 2015).

Las propiedades físicas y químicas del almidón modificado son dependientes de las condiciones de reacción (pH, tiempo de reacción, temperatura y contenido de humedad), tipo, peso molecular y distribución de los grupos sustituyentes (Hadi y col, 2020). El grado de sustitución (GS) del almidón extrudido con OSA de lenteja fue de  $0.023$  y de haba de  $0.021$ , los resultados están dentro del rango reportado por Plate y col. (2012) donde reportan un GS en almidón extrudido con OSA  $0.021$  a  $0.034$  y son consistentes con lo reportado por Wang y col. (2022) quienes reportan GS de  $0.0168$  a  $0.0382$  con la adición de OSA de  $3.0\%$  a  $7.0\%$ .

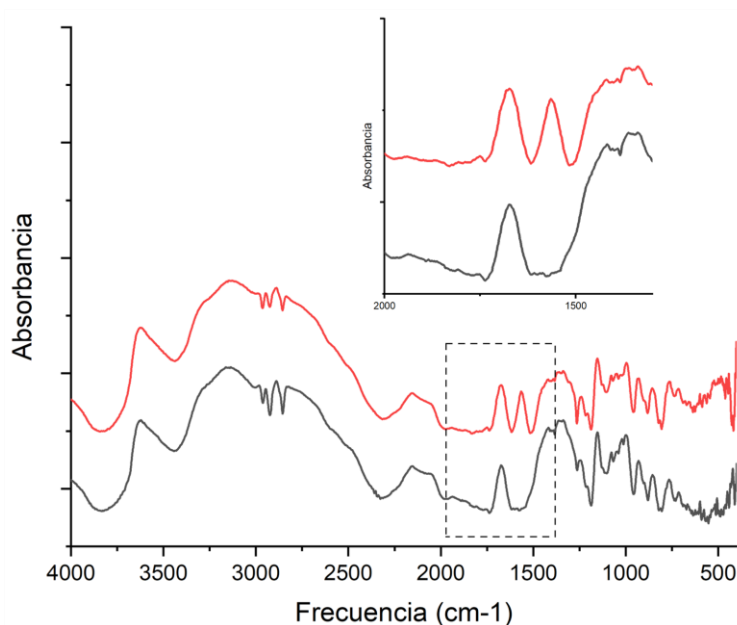


Figura 12. Espectroscopía FTIR del almidón de lenteja. Línea negra, almidón extrudido sin esterificar; línea roja almidón extrudido OSA.

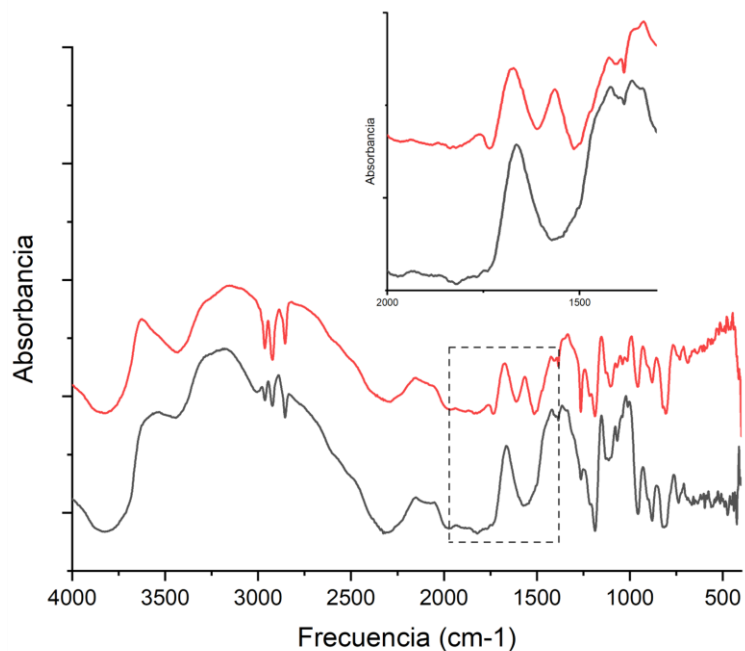


Figura 13. Espectroscopía FTIR del almidón de haba. Línea negra, almidón extrudido sin esterificar; línea roja almidón extrudido OSA

#### 4.2.3. Calorimetría

En las Figuras 14 y 15 se presentan los perfiles térmicos de almidón nativo, almidón extrudido sin esterificar y almidón extrudido OSA de haba y lenteja respectivamente. El comportamiento presentado por los almidones nativos es similar a lo reportado por González-Mendoza y col. (2022), Li y col. (2019), Ambigaipalan y col. (2011) y Zhang y col. (2019) para almidón de haba y Li y col. (2019), Lu (2017), Remya (2018) y Hoover y col. (2010) para almidón de lenteja. No se observa un cambio en el flujo de calor en el almidón extrudido sin esterificar y el almidón extrudido OSA debido a la gelatinización completa de estos. Las propiedades térmicas del almidón se ven afectadas al realizar la extrusión por el orden cristalino y la distribución de la longitud de las cadenas de amilopectina, lo cual se puede atribuir a que durante la extrusión se provocan rupturas en los enlaces intermoleculares en la estructura del almidón debido a los cambios de temperatura durante la extrusión que generan una gelatinización completa (Romero, 2021).

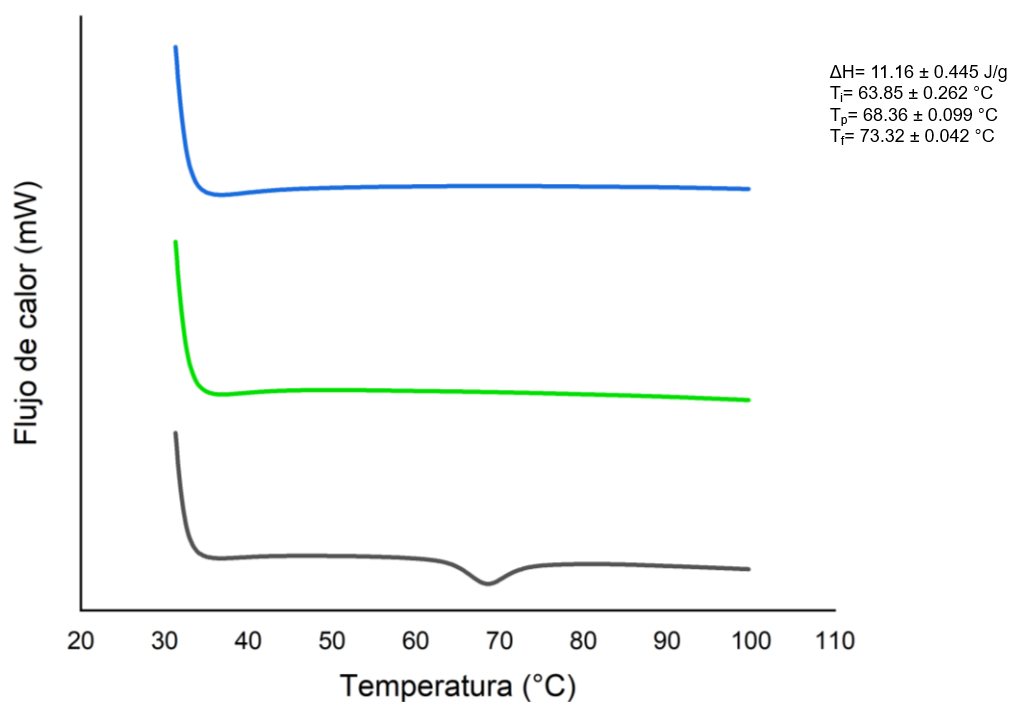


Figura 14. Perfil térmico del almidón de lenteja. Línea negra, almidón nativo; línea verde, almidón extrudido sin esterificar; línea azul almidón extrudido OSA.

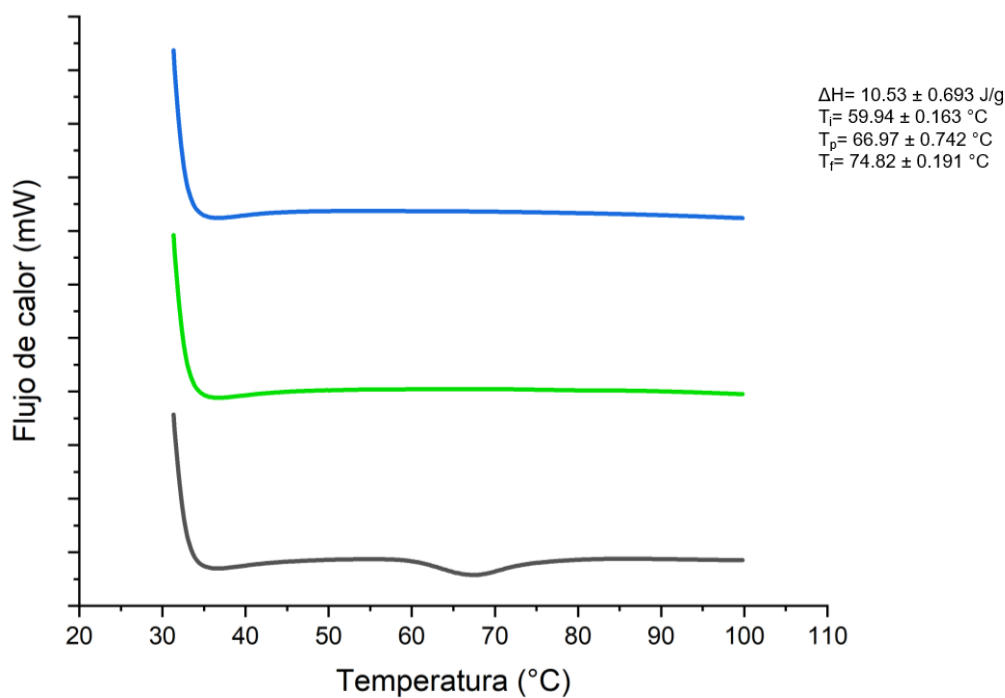


Figura 15. Perfil térmico del almidón de haba. Línea negra, almidón nativo; línea verde, almidón extrudido sin esterificar; línea azul almidón extrudido OSA.



#### 4.3. Determinaciones en el análogo de queso Chihuahua

En el Cuadro 5, se muestran los rendimientos presentados en las diferentes formulaciones tomando como control un análogo de queso Chihuahua sin la adición de almidón modificado. No se presentó diferencia estadística entre las formulaciones con almidón modificado tanto de haba como de lenteja vs el control, ni entre las formulaciones con reemplazo de 3 y 5 % de almidón OSA extrudido correspondientemente. Por lo que se puede decir que el análogo de queso Chihuahua podría ser competitivo en el mercado puesto que presenta buen rendimiento.

Cuadro 5. Rendimiento de las diferentes formulaciones del análogo de queso Chihuahua.

	Control	F1-Lenteja	F2-Lenteja	F1-Haba	F2-Haba
Rendimiento	92.40 ± 1.35 <sup>aA</sup>	90.80 ± 2.75 <sup>a</sup>	90.17 ± 1.80 <sup>a</sup>	92.27 ± 1.47 <sup>A</sup>	88.77 ± 2.35 <sup>A</sup>

Control, sin la adición de almidón; F1-Lenteja, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F2-Lenteja, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F1-Haba, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de haba; F2-Haba, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de haba. n=3 réplicas, ensayos realizados por triplicado. Media ± desviación estándar, valores con diferentes letras minúsculas superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha=0.05$ ) entre control contra los tratamientos de lenteja; valores con diferentes letras mayúsculas superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha=0.05$ ) entre control contra los tratamientos de haba. Prueba de Tukey.

##### 4.3.1. Análisis proximal

A continuación, se muestran en el Cuadro 6, los análisis proximales de las diferentes formulaciones del análogo de queso Chihuahua, tomando como Control un análogo de queso Chihuahua sin la adición de almidón modificado. No se observaron diferencias significativas de las formulaciones con almidón extrudido de haba y lenteja contra el Control en las determinaciones de humedad, proteína y cenizas, sin embargo, se presentaron diferencias significativas en la determinación de grasa lo cual se atribuye a la sustitución de grasa butírica por almidón extrudido la cual pasó de 18 % a 15 y 13 % correspondientemente en las formulaciones realizadas, como se muestran en el Cuadro 2.

De acuerdo con la clasificación en función del contenido de humedad y grasa del Código Alimentario Argentino (2015) los análogos de queso Chihuahua realizados se clasifican como queso semigraso de baja humedad (25-44.9 % de materia grasa y menos de 35.9 % de humedad) y a su vez cumplen con las especificaciones fisicoquímicas establecidas en la NMX-F-209-1985 para el queso Chihuahua: humedad de máximo 45 %, mínimo de 22 % de proteína y cenizas máximas de 6.5%. Sin embargo, no cumple con la especificación para grasa butírica donde se menciona que debe ser mínimo de 26 % pero es importante destacar que el queso Chihuahua presenta variaciones en intervalos muy amplios de su composición (Van Hekken, 2006) y que el queso elaborado es un análogo, por lo que puede tener diferentes especificaciones.

Cuadro 6. Análisis proximales de las diferentes formulaciones del análogo de queso Chihuahua.

Formulación	Humedad (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Ceniza (%)
Control	25.02 ± 1.26 <sup>aA</sup>	14.33 ± 1.15 <sup>aA</sup>	25.38 ± 0.55 <sup>aA</sup>	3.78 ± 0.06 <sup>aA</sup>
F1-Lenteja	23.52 ± 2.59 <sup>a</sup>	10.67 ± 1.44 <sup>b</sup>	24.57 ± 0.42 <sup>a</sup>	3.68 ± 0.34 <sup>a</sup>
F2-Lenteja	23.48 ± 2.58 <sup>a</sup>	9.17 ± 1.04 <sup>b</sup>	25.59 ± 0.81 <sup>a</sup>	3.63 ± 0.10 <sup>a</sup>
F1-Haba	25.92 ± 1.90 <sup>A</sup>	10.17 ± 1.90 <sup>B</sup>	24.57 ± 0.29 <sup>A</sup>	3.68 ± 0.08 <sup>A</sup>
F2-Haba	26.22 ± 2.51 <sup>A</sup>	9.67 ± 1.53 <sup>B</sup>	24.10 ± 1.36 <sup>A</sup>	3.63 ± 0.37 <sup>A</sup>

Control, sin la adición de almidón; F1-Lenteja, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F2-Lenteja, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F1-Haba, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de haba; F2-Haba, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de haba. n=3 réplicas, ensayos realizados por triplicado. Media ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras minúsculas superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha= 0.05$ ) entre control contra los tratamientos de lenteja; valores en la misma columna con diferentes letras mayúsculas superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha= 0.05$ ) entre control contra los tratamientos de haba. Prueba de Tukey.

#### 4.3.2. Textura

La textura es uno de los factores más influyentes en la selección de los alimentos, además se reconoce como la mayor característica de la calidad de los productos,

siendo más importante que la apariencia, el sabor, olor y la composición nutricional. En los quesos la textura es una de las características que determinan la calidad e identidad de estos (Osorio y col., 2004).

En el Cuadro 7 se muestran los resultados del análisis de textura (dureza, fracturabilidad, adhesividad, elasticidad y cohesión) de las diferentes formulaciones del análogo de queso Chihuahua, tomando como Control un análogo de queso Chihuahua sin la adición de almidón modificado. No se encontraron diferencias significativas en las pruebas de dureza, adhesividad, elasticidad y gomosidad entre el control y ambas formulaciones de los análogos de queso Chihuahua realizados con almidón extrudido de lenteja y haba.

Cuadro 7. Análisis de textura de las diferentes formulaciones del análogo de queso Chihuahua.

Formulación	Dureza (N)	Adhesividad (mJ)	Elasticidad (mm)	Cohesión	Gomosidad (N)
Control	13.54 ± 5.26 <sup>aA</sup>	2.67 ± 2.45 <sup>aA</sup>	15.81 ± 7.68 <sup>aA</sup>	0.72 ± 0.01 <sup>aA</sup>	9.77 ± 3.97 <sup>aA</sup>
F1-Lenteja	23.80 ± 14.59 <sup>a</sup>	2.37 ± 1.04 <sup>a</sup>	12.20 ± 1.67 <sup>a</sup>	0.70 ± 0.03 <sup>ab</sup>	16.93 ± 11.00 <sup>a</sup>
F2-Lenteja	38.05 ± 9.00 <sup>a</sup>	2.80 ± 1.76 <sup>a</sup>	20.39 ± 7.81 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.01 <sup>b</sup>	25.76 ± 5.80 <sup>a</sup>
F1-Haba	13.54 ± 5.25 <sup>A</sup>	1.87 ± 1.46 <sup>A</sup>	18.77 ± 8.65 <sup>A</sup>	0.68 ± 0.02 <sup>A</sup>	14.40 ± 3.77 <sup>A</sup>
F2-Haba	33.29 ± 20.25 <sup>A</sup>	2.37 ± 2.97 <sup>A</sup>	14.42 ± 5.26 <sup>A</sup>	0.68 ± 0.03 <sup>A</sup>	22.94 ± 14.73 <sup>A</sup>

Control, sin la adición de almidón; F1-Lenteja, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F2-Lenteja, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F1-Haba, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de haba; F2-Haba, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de haba. n=3 réplicas, ensayos realizados por triplicado. Media ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras minúsculas superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha= 0.05$ ) entre control contra los tratamientos de lenteja; valores en la misma columna con diferentes letras mayúsculas superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha= 0.05$ ) entre control contra los tratamientos de haba. Prueba de Tukey.

Sin embargo, en la cohesión se encontró diferencia significativa entre el Control y la formulación del análogo de queso Chihuahua con 5 % de almidón OSA extrudido de lenteja, a pesar de que no se encontró diferencia significativa entre el Control y

ambas formulaciones con almidón de haba. La cohesión representa el punto hasta el cual puede deformarse el material antes de romperse, en la formulación del análogo de queso Chihuahua con 5 % de almidón OSA extrudido de lenteja se presenta menor cohesión lo que indica que es más fácil la desintegración o desmoronamiento del producto (Osorio y col., 2004). Castro y de Hombre (2007) relacionaron la disminución de cohesividad de los quesos con la disminución de contenido de grasa debido a la forma de la matriz proteica que resulta al disminuir el contenido de grasa, por lo tanto, estos resultados se pueden correlacionar con los vistos anteriormente, la formulación con 3 % de almidón OSA extrudido de lenteja al ser la que presenta menor contenido de grasa también es la que presenta menor cohesión.

#### 4.3.3. Análisis de color

A continuación, en el Cuadro 8 se observan los parámetros de luminosidad ( $L^*$ ), índice rojo-verde ( $a^*$ ) e índice amarillo-azul ( $b^*$ ), de los diferentes tratamientos del análogo de queso Chihuahua, así como su Control. Tanto el Control como los análogos de queso Chihuahua elaborados con almidón extrudido de haba y lenteja presentaron valores similares sin diferencia estadística de luminosidad ( $L^*$ ) y de índice amarillo-azul ( $b^*$ ).

Los valores de índice amarillo-azul ( $b^*$ ) obtenido en cada una de las formulaciones indican ligera coloración amarilla debido a que  $b^*$  representa el nivel de intensidad de color amarillo en los valores positivos, mientras que los valores negativos indican presencia de color azul y  $a^*$  representa el nivel de intensidad de color rojo en los valores positivos, mientras que los valores negativos indican presencia de color verde (Subiabre y col., 2020). Por lo tanto, con los índices rojo-azul obtenidos podemos decir que las formulaciones mostraron una ligera tonalidad amarilla (Figura 16) sin diferencia estadística entre el Control y las formulaciones de almidón OSA extrudido de haba, el Control y la formulación con 3 % de almidón OSA extrudido de lenteja. Sin embargo, se presentó diferencia significativa entre el Control y la formulación con 5 % de almidón OSA extrudido de lenteja el cual presenta mayor nivel de intensidad

de tono, esta diferencia puede ligarse al almidón extrudido de lenteja que contiene la formulación y a que este material presenta una tonalidad más oscura respecto a haba.

Cuadro 8. Análisis de color de las diferentes formulaciones del análogo de queso Chihuahua.

Formulación	L*	a*	b*
Control	76.61 ± 1.76 <sup>Aa</sup>	2.99 ± 0.29 <sup>bA</sup>	24.19 ± 1.66 <sup>aA</sup>
F1-Lenteja	73.44 ± 3.79 <sup>a</sup>	3.62 ± 0.15 <sup>ab</sup>	23.20 ± 1.03 <sup>a</sup>
F2-Lenteja	73.32 ± 0.12 <sup>a</sup>	3.84 ± 0.39 <sup>a</sup>	21.51 ± 0.40 <sup>a</sup>
F1-Haba	75.25 ± 1.34 <sup>A</sup>	2.87 ± 0.60 <sup>A</sup>	23.79 ± 0.97 <sup>A</sup>
F2-Haba	73.46 ± 3.70 <sup>A</sup>	3.23 ± 1.15 <sup>A</sup>	24.23 ± 2.23 <sup>A</sup>

Control, sin la adición de almidón; F1-Lenteja, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F2-Lenteja, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F1-Haba, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de haba; F2-Haba, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de haba. n=3 réplicas, ensayos realizados por triplicado. Media ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras minúsculas superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha=0.05$ ) entre control contra los tratamientos de lenteja; valores en la misma columna con diferentes letras mayúsculas superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha=0.05$ ) entre control contra los tratamientos de haba. Prueba de Tukey.

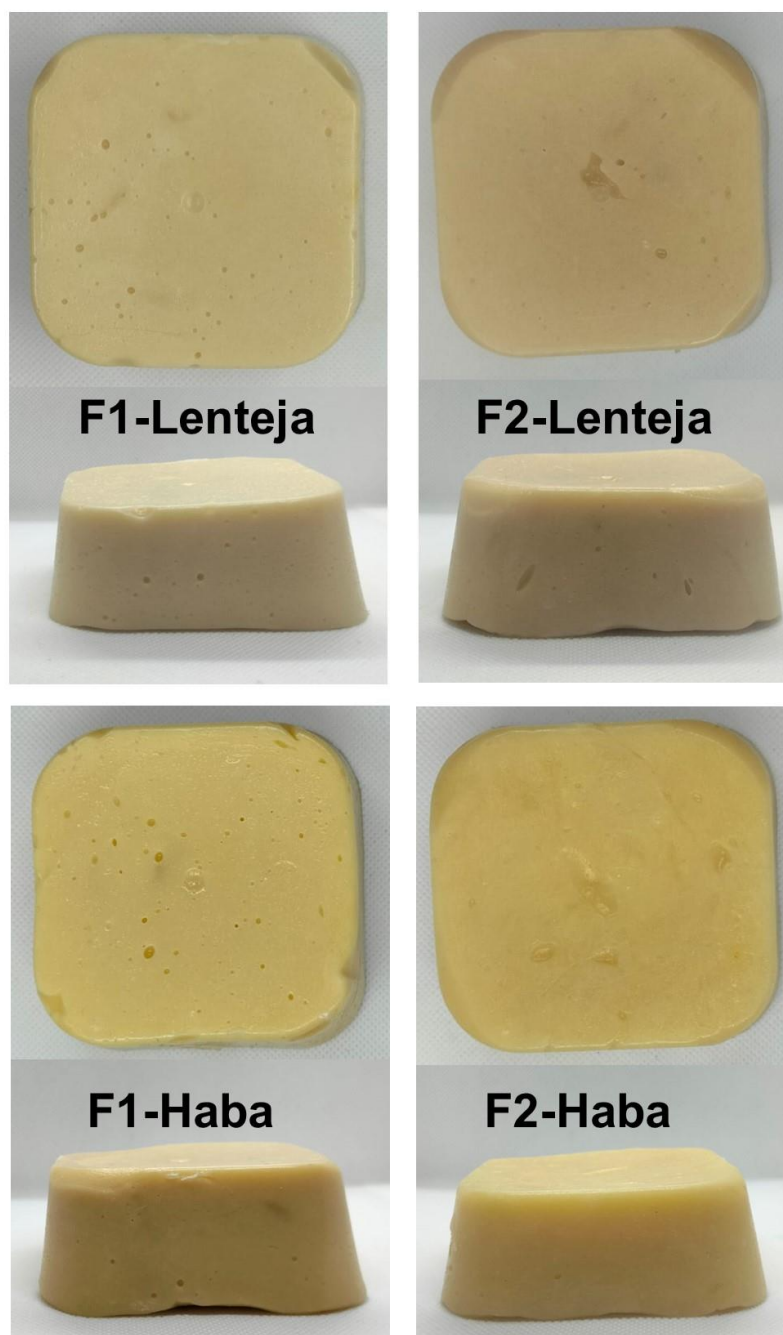


Figura 16. Fotografía de los quesos análogos obtenidos de las diferentes formulaciones. F1-Lenteja, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F2-Lenteja, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F1-Haba, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de haba; F2-Haba, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de haba.

#### 4.3.4. Análisis de fundido

A continuación, en el Cuadro 9 se muestra el análisis de fundición a diferentes temperaturas (100, 120 y 140°C) de las diferentes formulaciones y el Control. De manera general se observó que la mayor adición de almidón OSA (tanto de haba como de lenteja) modificaba el grado de extensión del fundido de los quesos, por lo que las formulaciones con 3 % de almidón se comportaban muy similar al Control. En la Figura 17, podemos ver la distancia que se desplazaron las muestras al ser sometidos a las diferentes temperaturas las formulaciones F1-Lenteja y F1-Haba.

Cuadro 9. Análisis de fundición de las formulaciones del análogo de queso Chihuahua.

Formulación	100 °C	120 °C	140 °C
Control	1.72 ± 0.25 <sup>aA</sup>	2.47 ± 0.20 <sup>aA</sup>	3.20 ± 0.09 <sup>aA</sup>
F1-Lenteja	1.43 ± 0.44 <sup>a</sup>	2.03 ± 0.18 <sup>a</sup>	3.22 ± 1.05 <sup>a</sup>
F2-Lenteja	1.07 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.35 ± 0.17 <sup>b</sup>	1.67 ± 0.40 <sup>a</sup>
F1-Haba	1.23 ± 0.13 <sup>B</sup>	2.02 ± 0.28 <sup>A</sup>	2.74 ± 0.33 <sup>A</sup>
F2-Haba	1.11 ± 0.10 <sup>B</sup>	1.52 ± 0.64 <sup>A</sup>	1.80 ± 0.95 <sup>A</sup>

Control, sin la adición de almidón; F1-Lenteja, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F2-Lenteja, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F1-Haba, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de haba; F2-Haba, reemplazo con 5 % de almidón OSA extrudido de haba. n=3 réplicas, ensayos realizados por triplicado. Media ± desviación estándar, valores en la misma columna con diferentes letras minúsculas superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha= 0.05$ ) entre control contra los tratamientos de lenteja; valores en la misma columna con diferentes letras mayúsculas superíndices indican diferencia estadística significativa ( $\alpha= 0.05$ ) entre control contra los tratamientos de haba. Prueba de Tukey.

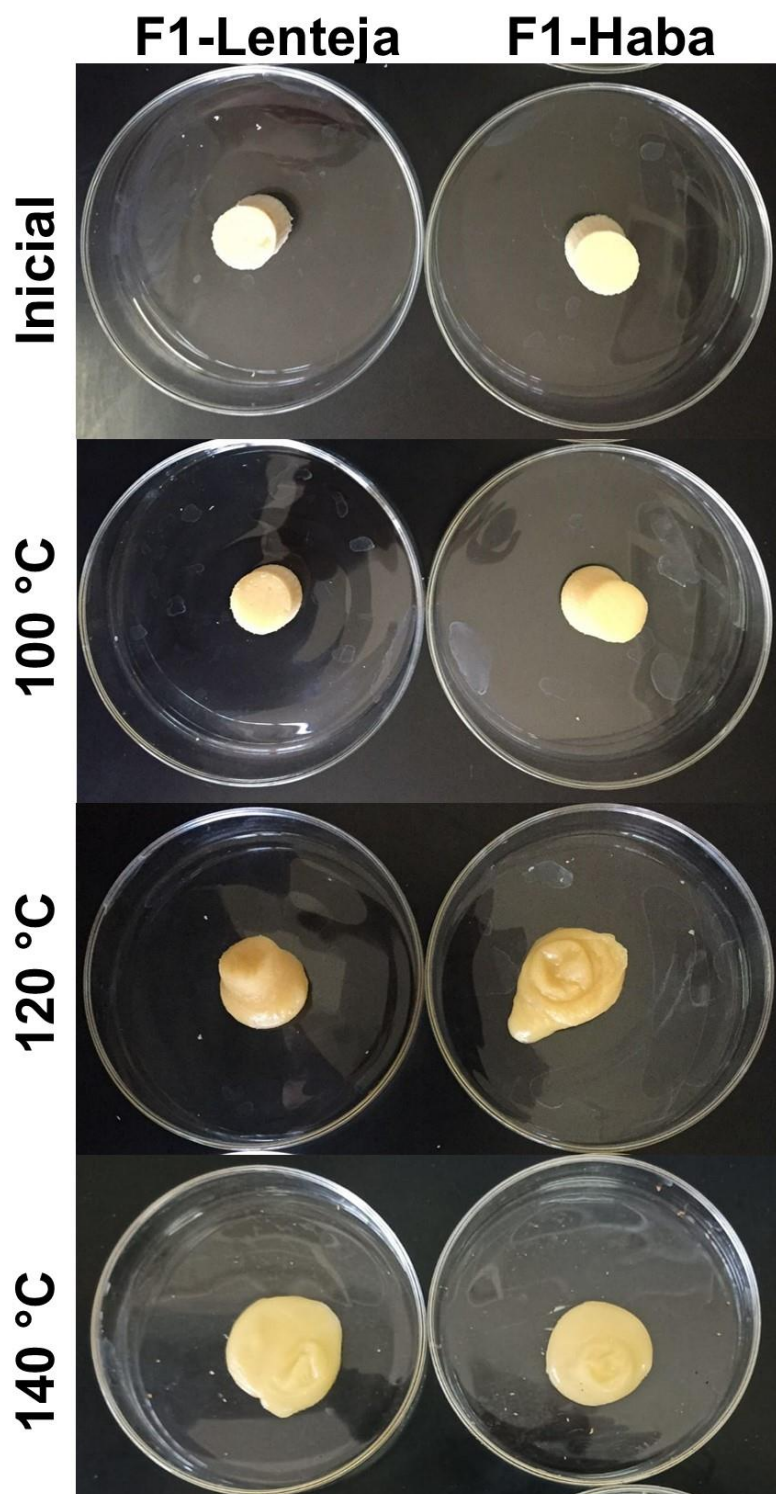


Figura 17. Fotografía de la evaluación de fundido de las formulaciones F1-Lenteja y F2-Haba. F1-Lenteja, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de lenteja; F1-Haba, reemplazo con 3 % de almidón OSA extrudido de haba.



## 5. CONCLUSIONES

Los almidones nativos de haba y lenteja se modificaron adecuadamente mediante extrusión reactiva con contenido de humedad de 25 % y concentración de 3 % de OSA. De acuerdo con los perfiles de viscosidad, la espectroscopía FTIR y el perfil térmico de los almidones se pudieron corroborar las modificaciones a los gránulos nativos.

Los almidones extruidos de haba y lenteja se aplicaron exitosamente en la elaboración de un análogo de queso Chihuahua con rendimiento de 89 % a 92 %, sin diferencia significativa entre fuentes de almidón.

Se logró la elaboración de un análogo de queso Chihuahua elaborado con almidón de leguminosa modificado por extrusión reactiva, presentando una humedad, proteína, textura, y color similar a la de un análogo convencional. Se relaciona proporcionalmente el contenido de grasa de los análogos de queso Chihuahua elaborados con almidón extrudido con los resultados de cohesión, se desintegran o desmoronan más fácilmente al presentar menor contenido de grasa debido a la forma de la matriz proteica que resulta al disminuir el contenido de grasa. Además, se pudieron obtener quesos reducidos en contenido de grasa (9.17 % a 10.67 %) en los análogos elaborados con almidón extruido de haba y lenteja.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

**Ambigaipalan P**, Hoover R, Donner E, Liu Q, Jaiswal S, Chibbar R, Nantanga KKM, Seetharaman, K. Structure of faba bean, black bean and pinto bean starches at different levels of granule organization and their physicochemical properties. *Food Research International*. **2011**. 44: 2962 – 2974.

**AOAC**. Official Methods of Analysis. Vol. 1. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists Int. Gaithersburg, MD. **2000**.

**APFI**. Asia Pacific Food Industry. **2017**. The Power Of Starch: Creating Cheese Products With Superior Texture. Recuperado el 22 de febrero de 2022 de <https://www.apfoodonline.com/industry/the-power-of-starch-creating-cheese-products-with-superior-texture/#:~:text=Starch%20plays%20an%20important%20role,as%20providing%20other%20functional%20attributes>.

**Ashwar AB**, Gani A, Gani A, Shah A, Massodi AF. *Food Chemistry*. **2018**; 239: 287–294.

**Bachman HP**. Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal*. **2001**. 11: 505 – 515.

**Bello-Pérez L**, Islas-Hernández JJ, Rendón-Villalobos JR, Agama-Acevedo E, Morales-Franco L, Tovar J. In vitro starch digestibility of fresh. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **2007**; 87:1517–1522.

**Brouwer-Brolsma EM**, Sluik D, Singh-Povel CM, Feskens EJM. Dairy product consumption is associated with pre-diabetes and newly diagnosed type 2 diabetes in the Lifelines Cohort Study. *Br J Nutr*. **2018**; 119(4): 442-455.

**Bustamante M**, Oomah BD, Rubilar M, Shene C. *Food Chemistry*. **2017**; 216: 97–105.

**Butt NA**, Ali TM, Hasnain A. Development of rice starch-based casein and fat mimetics and its application in imitation mozzarella cheese. *Journal Of Food Processing And Preservation*. **2020**; 44(12). doi:10.1111/jfpp.14928

**Cai J**, Cai C, Man J, Zhou W, Wei C. Structural and functional properties of C-type starches. *Carbohydrate Polymers*. **2014**; 101: 289– 300.

**Castro P**. Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua: un fruto de la revolución mexicana. En: Nateras-Dominguez (ed.) *Estudios psicosociales, sociológicos y políticos*. Universidad Autónoma Metropolitana. **2001**; 171-196. ISBN 970-654-770-3. Archivado desde el original el 25 de septiembre de 2015.

**Chen Z**, Liang N, Zhang H, et al. Resistant starch and the gut microbiome: Exploring beneficial interactions and dietary impacts. *Food Chemistry X*. **2024**; 21: 101118.

**Chung HJ**, Liu Q, Hoover R. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymers*. **2009**; 75(3): 436-447.

Código Alimentario Argentino. Secretaría de Agroindustria. QUESOS: Concentración de nutrientes.; 2015. Recuperado de: [https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/seguridad-alimentaria-y-nutricion/fichaspdf/Ficha\\_38\\_Quesos.pdf](https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/seguridad-alimentaria-y-nutricion/fichaspdf/Ficha_38_Quesos.pdf).

**De Hombre RA**, Castro E. Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121381>. **2007**.

**Doublier JL**. A rheological comparison of wheat, maize, faba bean and smooth pea starches. *Journal Of Cereal Science*. **1987**; 5(3): 247-262.

**Eckert C**, Serpa VG, Felipe dos Santos AC, Marinês S, Dalpubel V, Lehn DN, Volken de Souza, CF. *LWT- Food Science and Technology*. **2017**; 82: 176–183.

**ENSANUT**. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición Humana. **2020**. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición Continua 2022. Recuperado el 22 de febrero de 2022 de <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2022/>

**Escobar MC**. Efecto de la incorporación de un microorganismo probiótico y de almidón de haba en la calidad de un queso fresco tipo panela. **2008**.

**Esquivel A**, Santos-Moreno A. Los quesos típicos mexicanos: queso Oaxaca. *Lácteos Cárnicos Mexicanos*. **1996**; 11 (4), 4–8.

**FAO**. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAOSTAT Statistics database-agriculture. Rome, Italy. **(2010)**.

**FAO**. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. **2019**. Carne y Productos Cárnicos. Recuperado el 5 de abril de 2019 de <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html>

**Food Tech**. The Food Tech. **2020**. ¿Cuál es el consumo de queso de los mexicanos? Recuperado el 22 de febrero de 2022 de <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/cual-es-el-consumo-queso-mexicanos/#:~:text=Tan%20s%C3%B3lo%20el%20consumo%20de,kilogramos%20de%20queso%20al%20a%C3%B1o>

- Fornal Ł**, Soral-Śmietana M, Fornal J. Chemical characteristics and physico-chemical properties of faba bean starch isolated from the by-product after protein extraction. *Nahrung/Food*. **1985**; 29(8): 793-801.
- Fox PF**, Guinee TR, Cogan TM, Mc Sweeney PLM. In: *Fundamentals of Cheese Science*”, An Asen publication. **2000**; 445 – 450.
- Gómez-Mascaraque LG**, Ambrosio-Martín J, Pérez-Masiá R, López-Rubio A. Electrospraying. *Journal of Healthcare Engineering*. **2017**; 4698079.
- González-Mendoza, M.E.**; Martínez-Bustos, F.; Castaño-Tostado, E.; Amaya-Llano, S.L. Effect of Microwave Irradiation on Acid Hydrolysis of Faba Bean Starch: Physicochemical Changes of the Starch Granules. *Molecules* **2022**; 27, 3528.
- Gorbach S**, Doron S, Magro F. *The Microbiota in Gastrointestinal Pathophysiology*. Academic Press. **2017**; 79–88.
- Haase NU**, Shi HL. A Characterization of Faba Bean Starch (*Vicia faba* L.). *Starch - Stärke*. 1991; 43(6): 205-208.
- Hadi NA**, Wiege B, Stabenau S, Marefati A, Rayner M. Comparison of Three Methods to Determine the Degree of Substitution of Quinoa and Rice Starch Acetates, Propionates, and Butyrates: Direct Stoichiometry, FTIR, and <sup>1</sup>H-NMR. *Foods*. **2020**; 9(1): 83.
- Hong J**, Zeng XA, Brennan C, Brennan M, Han Z. Recent Advances in Techniques for Starch Esters and the Applications: A Review. *Foods*. **2016**; 5(4): 50.
- Hoover R**, Hughes T, Chung HJ, Liu Q. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food Research International*. **2010**; 43(2): 399-413.
- Hoyos-Leyva JD**, Bello-Pérez LA, Álvarez-Ramírez J, García HS. *Food Reviews International*. **2016**; 34: 148–161.
- Jeon YS**, Viswanathan A, Gross RA. Studies of Starch Esterification: Reactions with Alkenylsuccinates in Aqueous Slurry Systems. *Starch/Stärke*. **1999**; 51: 90–93.
- Joshi M**, Aldred P, McKnight S, et al. Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. *Carbohydrate Polymers*. **2013**; 92(2): 1484-1496.
- Kamath R**, Basak S, Gokhale J. Recent trends in the development of healthy and functional cheese analogues – A review. *LWT*. **2022**; 155: 112991.

**Karaman M**, Tuncel NB, Tuncel NY. The effect of ultrasound-assisted extraction on yield and properties of some pulse starches. *Starch - Stärke*. **2017**; 69(9-10): 1600307.

**Khem S**, Bansal V, Small D, May B. Comparative influence of pH and heat on whey protein isolate in protecting *Lactobacillus plantarum* A17 during spray drying. *Food Hydrocolloids*. **2015**; 54: 162–169.

**Kosikowski F**. Cheese and Fermented Milk Foods. Vol 2. 3.<sup>a</sup> ed.; **1982**.

**Lapsiri W**, Bhandari B, Wanchaitanawong P. Stability and Probiotic Properties of *Lactobacillus plantarum* Spray-Dried with Protein and Other Protectants. *Drying Technology*. **2012**; 30: 1407–1412.

**Li C**, Ganjyal GM. Chemical Composition, Pasting, and Thermal Properties of 22 Different Varieties of Peas and Lentils. *Cereal Chemistry*. **2017**; 94(3): 392-399.

**Li L**, Yuan TZ, Setia R, Raja RB, Zhang B, Ai Y. Characteristics of pea, lentil and faba bean starches isolated from air-classified flours in comparison with commercial starches. *Food Chemistry*. **2019**; 276: 599–607.

**Lu Z**, Donner E, Tsao R, Ramdath DD, Liu Q. Physicochemical and digestion characteristics of flour and starch from eight Canadian red and green lentils. *International Journal Of Food Science & Technology*. **2017**;53(3):735-746.

**Majeed T**, Wani IA, Hussain PR. Effect of dual modification of sonication and  $\gamma$ -irradiation on physicochemical and functional properties of lentil (*Lens culinaris* L.) starch. *International Journal Of Biological Macromolecules*. **2017**; 101: 358-365. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.03.110

**Martín MJ**, Lara-Villoslada F, Ruiz A, Morales E. Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. **2014**; 27: 15-25.

**Masotti F**, Cattaneo S, Stuknytė M, De Noni I. Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities. *Trends in Food Science & Technology*. **2018**; 74, 158–169.

**Murúa-Pagola B**, Beristain-Guevara CI, Martínez-Bustos F. Preparation of starch derivatives using reactive extrusion and evaluation of modified starches as shell materials for encapsulation of flavoring agents by spray drying. *Journal of Food Engineering*. **2009**; 91: 380–386.

**Narváez-González E**, Figueroa C, Taba S, Castaño-Tostado E, Martínez-Peniche R. Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. **2007**; 30: 269-277.

**Nasr**, F. Cheese making steps. Collected and simplified presentation for teaching. *Fermented Foods and Probiotic Supplement Products for Healthy Nutrition*. **2019**; 6

**Neffe-Skocińska K**, Rzepkowska A, Szydlowska A, Kolozyn-Krajewska D. Trends and possibilities of the use of probiotics in food production. *Handbook of Food Bioengineering*. Academic Press. **2018**.

**NMX-F-209-1985**, Alimentos – Lácteos – Queso tipo Chihuahua

**No J**, Shin M. Preparation and characteristics of octenyl succinic anhydride-modified partial waxy rice starches and encapsulated paprika pigment powder. *Food Chem*. **2019**; 295: 466-474.

**NOM-121-SSA1-1994**, Bienes y servicios. Quesos: frescos, madurados y procesados. Especificaciones sanitarias.

**NOM-243-SSA1-2010**, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.

**Osorio JF**, Ciro HJ, Mejía LG. Caracterización textural y fisicoquímica del queso EDAM. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. **2004**; 57(1): 2275-2286.

**Ovando-Martínez M**, Whitney K, Ozsisli B, Simsek, S. Physicochemical Properties of Octenyl Succinic Esters of Cereal, Tuber and Root Starches. *Journal of Food Processing and Preservation*. **2017**; 41: 1–9.

**Panghal A**, Janghu S, Virkar K, Gat Y, Kumar V, Chhikara N. Potential non-dairy probiotic products – A healthy approach. *Food Bioscience*. **2018**; 21: 80–89.

**Pérez-Chabela ML**, Díaz-Vela J, Reyes-Menéndez CV, Totosa A. Improvement of moisture stability and textural properties of fat and salt reduced cooked sausages by inoculation of thermotolerant lactic acid bacteria. *International Journal of Food Properties*. **2013**; 16: 1789–1808.

**Pérez-Chabela ML**, Lara-Labastida R, Rodríguez-Huezo E, Totosa A. Effect of spray drying encapsulation of thermotolerant lactic acid bacteria on meat batters properties. *Food and Bioprocess Technology*. **2013**; 6: 1505–1515.

**Plate S**, Diekmann S, Steinhäuser U, Drusch S. Determination of the degree of substitution of hydrolysed octenylsuccinate-derivatised starch. *LWT*. **2012**; 46(2): 580-582.

**Plaza-Diaz** J, Ruiz-Ojeda FJ, Gil-Campos M, Gil, A. Mechanisms of Action of Probiotics. *Advances in Nutrition*. **2019**; 10: S49–S66.

**Punia** S, Dhull SB, Sandhu KS, Kaur M. Faba bean (*Vicia faba*) starch: Structure, properties, and in vitro digestibility—A review. *Legume Science*, **2019**; 1(1).

**Qi** X, Tester RF. Starch granules as active guest molecules or microorganism delivery systems. *Food Chemistry*. **2019**; 271: 182–186.

**Ramdath** DD, Lu ZH, Maharaj PL, Winberg J, Brummer Y, Hawke A. Proximate Analysis and Nutritional Evaluation of Twenty Canadian Lentils by Principal Component and Cluster Analyses. *Foods*. **2020**; 9(2): 175

**Ramírez** JL. Extrusión termoplástica de almidones y productos amiláceos. Engormix. [https://www.engormix.com/balanceados/gelatinizacion-cereales/extrusion-termoplastica-almidones-productos\\_a41262/](https://www.engormix.com/balanceados/gelatinizacion-cereales/extrusion-termoplastica-almidones-productos_a41262/). Publicado: 25 de octubre de **2017**. Recuperado en junio 3, 2024.

**Remya** R, Jyothi AN, Sreekumar J. Morphological, structural and digestibility properties of RS4 enriched octenyl succinylated sweet potato, banana and lentil starches. *Food Hydrocolloids*. **2018**; 82: 219-229.

**Romero** MI. Efecto de los ciclos de extrusión y la fuente de almidón sobre la formación de almidón resistente tipo III. **2021**.

**Sajilata** MG, Singhal RS, Kulkarni PR. Resistant Starch—A Review. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*. **2006**; 5(1): 1-17.

**Salvador** D, Acosta Y, Zamora A, Castillo M. Rennet-Induced Casein Micelle Aggregation Models: A Review. *Foods*. **2022**; 11(9):1243.

**Santana** ÁL, Angela M, Meireles A. New Starches are the Trend for Industry Applications: A Review. *Food and Public Health*. **2014**; 4: 229–241.

**Scott** R. *Cheesemaking Practice*. Elsevier Applied Science Publishers LTD, Great Britain. **1986**.

**Sjöö** M, Nilsson L. *Starch in Food*. Second Edition. Woodhead Publishing. **2017**; 195-316.

**Subiabre** I, Uloa P, Morales R, Díaz J, Naguian P, Pizarro N. Evaluación de parámetros de textura y color en queso chanco madurado a 30 días. *Instituto de investigaciones agropecuarias*. **2020**; 242.

**Tian** Y, Zhang X, Sun B, Jin Z, Wu. Starch sodium dodecenyl succinate prepared by one-step extrusion and its properties. *Carbohydrate Polymers*. **2015**; 133: 90–93.

**Van Hekken** DL, Farke NY. Hispanic cheeses: The quest for queso. Food Technology. **2003**; 57 (1), 32–34, 36, 38

**Walstra** P. Ciencia de la Leche y Tecnología de Productos Lácteos, Acribia, S. A., Zaragoza, España. **2001**.

**Wang** K, Cheng L, Li Z, Li C, Hong Y, Gu Z. The degree of substitution of OSA-modified starch affects the retention and release of encapsulated mint flavour. Carbohydrate Polymers. **2022**; 294: 119781.

**Wei** F, Nakamura T. Effects of starches on the mechanical properties and microstructure of processed cheeses with different types of casein network structures. Food Hydrocolloids. **2018**. 79: 587 – 595.

**Zhang** Z, Tian X, Wang P, Jiang H, Li W. Compositional, morphological, and physicochemical properties of starches from red adzuki bean, chickpea, faba bean, and baiyue bean grown in China. Food Science & Nutrition. **2019**;7(8):2485-2494.