



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**USO DE ALMIDONES MODIFICADOS COMO  
MODIFICADORES DE TEXTURA EN PRODUCTOS LÁCTEOS**

**TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**QUÍMICA EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:**

**BERENICE MUÑOZ CHACÓN**



**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX**

**AÑO 2017**



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:** Profesor: **MARÍA ELENA CAÑIZO SUÁREZ**

**VOCAL:** Profesor: **HUGO RUBÉN CARREÑO ORTIZ**

**SECRETARIO:** Profesor: **JUAN CARLOS RAMÍREZ OREJEL**

**1er. SUPLENTE:** Profesor: **RODOLFO FONSECA LARIOS**

**2° SUPLENTE:** Profesor: **ESMERALDA PAZ LEMUS**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL Y BIOQUÍMICA, FACULTAD DE MEDICINA  
VETERINARIA Y ZOOTECNIA, CIUDAD UNIVERSITARIA, UNAM**

**ASESOR DEL TEMA:**

\_\_\_\_\_

**M.C. JUAN CARLOS RAMÍREZ OREJEL**

**SUSTENTANTE (S):**

\_\_\_\_\_

**BERENICE MUÑOZ CHACÓN**

## Contenido

Índice de figuras.

Índice de tablas

<b>Abreviaturas</b> .....	5
<b>Resumen</b> .....	6
<b>Introducción</b> .....	8
<b>Objetivos</b> .....	9
<b>Objetivo general:</b> .....	9
<b>Objetivos particulares:</b> .....	9
<b>Capítulo 1. Almidón</b> .....	10
1.1 Generalidades .....	10
1.2 Amilosa .....	11
1.3 Amilopectina .....	11
1.4 Características de los almidones de acuerdo a su origen.....	12
1.5 Gelatinización del almidón. ....	14
1.6 Retrogradación del almidón .....	15
1.7 Modificación de la estructura de almidones. ....	17
1.7.1 Métodos químicos. ....	17
1.7.2 Modificaciones físicas. ....	23
1.8 Criterios para el uso de almidones en alimentos.....	24
1.9 Legislación.....	25
<b>Capítulo 2. Uso de almidones modificados en productos lácteos</b> .....	29
2.1 Composición química de la leche.....	29
2.1.1 Lípidos.....	30
2.1.2 Lactosa.....	30
2.1.3 Proteínas.....	31
2.2 Productos derivados de la leche .....	32
2.3 Uso de almidones en producto lácteos e interacción con componentes de la leche.....	32
2.3.1 Interacciones del almidón con lactosa.....	32
2.3.2. Interacción de almidón con proteínas lácteas. ....	33
2.3.3 Interacción de almidón con los lípidos.....	33
<b>Capítulo 3. Uso de almidones modificados en yogurt.</b> .....	35
3.1 Yogurt .....	35

3.2 Tipos de Yogurt: .....	36
3.3 Ingredientes para elaboración de Yogurt: .....	36
3.4 Proceso de obtención de Yogurt.....	36
3.5 Propiedades físicas del yogurt. ....	39
3.5.1 Sinéresis del yogurt.....	39
3.6 NOM-181-SCFI-2010 -Yogurt .....	39
3.7 Aditivos empleados en el proceso de elaboración del yogurt.....	40
3.8 Uso de almidones modificados en yogurt. ....	41
3.9 Yogurt griego.....	46
3.10 Análisis de la aplicación de almidones modificados en la elaboración del yogurt .....	47
<b>Capítulo 4. Uso de almidones modificados en Queso.....</b>	<b>49</b>
4.1 Queso .....	49
4.2 Clasificación de los quesos.....	49
4.2.1 Quesos análogos.....	50
4.2.2 Quesos bajos en grasa .....	50
4.3 Proceso de obtención de quesos frescos .....	51
4.4 NOM-243-SSA-201 Normatividad para Queso .....	53
4.5 Aditivos empleados en la elaboración de quesos.....	55
4.6 Uso de almidones modificados en quesos frescos.....	55
4.6.1 Almidones modificados en quesos bajos en grasa.....	55
4.6.2 Almidones modificados en quesos análogos .....	58
4.7 Análisis del uso de almidones modificados en la elaboración de quesos frescos. ....	66
<b>Capítulo 5. Uso de almidones modificados en Helado.....</b>	<b>68</b>
5.1 Helado .....	68
5.2 Clasificación de Helados .....	68
5.3 Ingredientes para Helado. ....	69
5.4 Proceso de obtención de helados. ....	70
5.5 NOM-036-SSA1-1993 Normatividad para Helado.....	72
5.6 Almidones modificados en helados. ....	72
5.7 Análisis del uso de almidones modificados en la elaboración de helados.....	74
<b>Conclusiones .....</b>	<b>75</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>77</b>

## Índice de Figuras

Fig. 1.1 Molécula de Amilosa .....	10
Fig. 1.2 Molécula de Amilopectina.....	11
Fig. 1.3 Gránulos de Almidón de Distintas Fuentes.....	13
Fig. 1.4 Retrogradación del Almidón.....	16
Fig. 1.5 Acetilación de Almidón.....	18
Fig. 1.6 Fosforilación de Almidón.....	19
Fig. 1.7 Éster de alquenilsuccinato de almidón.....	20
Fig. 1.8 Hidroxipropilación de Almidón.....	20
Fig. 1.9 Eterificación de Almidón.....	22
Fig. 3.1 Diagrama de elaboración de yogurt.....	38
Fig. 3.2 Microscopia de Barrido Electrónico de muestras de yogurt.....	44
Fig. 4.1 Diagrama de Elaboración de Queso.....	54
Fig. 4.2 Capacidad de Retención de Agua de diferentes tratamientos de almidón en queso.....	57
Fig. 4.3 Micrografía de Escaneo electrónico de Queso Feta.....	58
Fig. 4.4 Expansión de Queso.....	60
Fig. 4.5 Micrografía electrónica de Queso.....	61
Fig. 4.6 Micrografía electrónica de Queso.....	63
Fig. 4.7 Micrografía Electrónica de Queso.....	64
Fig. 4.8 Microscopía Electrónica de Queso con 5, 7 y 9% de almidón.....	65
Fig. 5.1 Diagrama de Elaboración de Helado.....	71

## Índice de Tablas

Tabla 1.1 Características Físicoquímicas de los almidones de acuerdo a su origen .....	13
Tabla 1.2 Almidones Modificados permitidos por JECFA, COFEPRIS y Unión Europea.....	28
Tabla 2.1 Composición General de La Leche.....	29
Tabla 3.1 Contenido de Proteína de Yogurt Griego contra Yogurt Natural.....	47
Tabla 4.1 Clasificación de Quesos.....	49
Tabla 4.2 Límites Microbiológicos para Queso.....	53
Tabla 5.1 Límites Microbiológicos para helado.....	72
Tabla 5.2 Límites Microbiológicos para mezclas de helado.....	72

## Abreviaturas

°C: Grados Celsius

µm: micrómetros

CaCl<sub>2</sub>: Cloruro de Calcio

CMC: Carboximetilcelulosa

g: Gramos

GS: Grado de Sustitución

NaOH: Hidróxido de Sodio

pH: potencial de Hidrogeno

UFC: Unidades Formadoras de Colonia

## Resumen

---

El almidón es el hidrato de carbono más abundante en la dieta del hombre. Se encuentra en cereales, tubérculos y en algunos vegetales y frutos como polisacárido de reserva energética. Este compuesto se encuentra formado por unidades de amilosa y amilopectina, las cuáles influyen de manera importante en las propiedades sensoriales de los alimentos debido a su capacidad de hidratación y gelatinización. Sin embargo, dichas propiedades no pueden ser aprovechadas por completo en almidones nativos debido a ciertas limitantes en su uso; es por eso que la industria alimentaria recurre a modificaciones en estos almidones para aumentar sus propiedades funcionales y las condiciones de empleo de los mismos.

El almidón presenta interacciones con los macrocomponentes principales presentes en la leche (lípidos, proteínas y lactosa) ya que pueden afectar el comportamiento de una solución almidón-agua –el caso de la lactosa- e influir en factores como la temperatura de gelatinización y la retrogradación del almidón.

El uso de almidones modificados en productos lácteos tales como el queso, yogurt y helado se encuentra ampliamente distribuido, principalmente por impartir viscosidad, mejorar la textura, ser usados como sustituto de grasa, estabilizantes de emulsión, y reducción de costos. Los beneficios observados del uso de estos aditivos y su función dependen de la composición de cada uno de estos alimentos, así como de las interacciones que existan entre los almidones y los macrocomponentes presentes.

En el caso del yogurt, la funcionalidad de los almidones modificados se enfoca en lograr una mayor retención de agua para evitar la sinéresis, - defecto catalogado como indeseable para el consumidor-, logrando un realce en la textura del yogurt. Se emplea en su mayor parte almidones entrecruzados debido a las características que adquieren las pastas de estos almidones, entre ellas, mayor viscosidad y estabilidad a pH's ácidos. Otra función que cumple el almidón modificado es como

espesante aumentando la viscosidad, lo cual incrementa a sensación de cremosidad, pudiéndose emplear como sustituto de grasa en yogurt.

Existe una gran variedad de quesos disponibles, lo cual complica su clasificación, sin embargo, pueden ser clasificados de acuerdo a su estado de maduración: frescos, semimadurados y madurados (Ramírez López y Vélez Ruíz, 2012). En este estudio, se investigó acerca del uso de almidones modificados en quesos frescos, tomando como variantes quesos bajos en grasa y quesos análogos; actuando como sustitutos de grasa, extensores para calentamiento y retensores de agua.

El uso del almidón en helado no se encuentra generalizado debido al amplio uso de gomas estabilizadoras, sin embargo, se propone al almidón entrecruzado o estabilizado como opción de estudio debido a su resistencia frente a ciclos de congelación-descongelación y con un precio similar a la Carboximetilcelulosa.

## Introducción

---

Un aditivo alimentario es definido por el CODEX Alimentarius como “cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de producción, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte sus características”. Estas sustancias no deben ser empleadas para encubrir malas prácticas de manufactura.

De acuerdo a su función tecnológica, los aditivos son clasificados en colorantes, saborizantes, potenciadores del sabor, antioxidantes, conservadores, emulsificantes e hidrocoloides. Los almidones (nativos y modificados) recaen en la última categoría debido a las diversas funciones que cumplen, entre ellas: aumento de la viscosidad del producto, mejorar la textura, retención de agua, sustituto de grasa, etc.

Se recurre a las modificaciones físicas y/o químicas del almidón para impartir características que no poseen los almidones nativos, y así, ampliar su uso en una mayor variedad de productos alimenticios; entre ellos, productos cuya base es la leche de vaca. El almidón presenta interacciones con los componentes de la leche, lo cual influye en las características de la pasta formada; además de la modificación realizada al almidón y el origen del mismo.

Mediante una investigación bibliográfica, el presente trabajo expone la composición química, orígenes y fenómenos que presenta el almidón; las modificaciones físicas o químicas a las cuáles se somete y las funcionalidades que adquiere a partir de éstas; los alimentos en los cuáles son empleados y las interacciones que pueden presentar; así como los alimentos en los que puede ser empleado y la utilización de almidones modificados en productos lácteos (yogurt, queso y helado), sugiriendo opciones de utilización de almidones en cada uno de los alimentos estudiados.

## Objetivos

---

### Objetivo general:

Recopilar y sintetizar la información más relevante acerca del uso de almidones modificados en productos lácteos (yogurt, queso y helado) en los últimos años, y determinar las tendencias de uso en la industria alimentaria.

### Objetivos particulares:

Conocer el origen, uso y modificaciones de los distintos almidones disponibles para su aplicación en alimentos.

Determinar la función que tienen los almidones modificados al ser incluidos en la formulación de productos lácteos.

Identificar las posibles reacciones y/o interacciones químicas involucradas en el uso de almidones modificados, así como las ventajas sensoriales que tiene la aplicación de estos productos.

## Capítulo 1. Almidón

---

### 1.1 Generalidades

El almidón es el polisacárido más consumido por el ser humano; además de ser la sustancia de reserva energética de las plantas. Es obtenido a partir de maíz, trigo, maíz céreo, arroz y de algunas raíces y tubérculos como lo son la papa y la tapioca. Los almidones tienen un gran número de aplicaciones en el procesamiento de alimentos, las cuales son: adhesivo, ligante, enturbiante, formador de películas, estabilizante de espumas, gelificante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante.

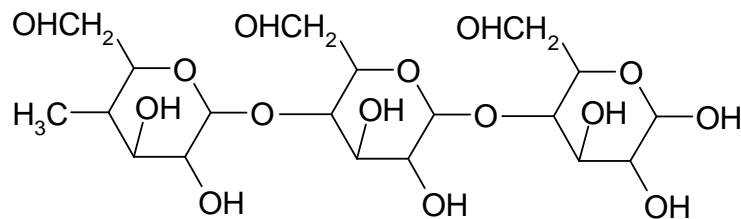
El almidón se encuentra en los tejidos de las plantas, los cuales incluyen polen, hojas, tallos, raíces, tubérculos, bulbos, rizomas, frutas, flores, pericarpio, cotiledones y endospermo. Es sintetizado en las hojas de las plantas mediante una condensación de glucosa después del proceso de fotosíntesis. Durante la fase activa de la fotosíntesis, el almidón es acumulado en las hojas en forma de gránulos pequeños llamados “almidón transitorio”. Durante la “fase oscura” de la fotosíntesis, este almidón de reserva es hidrolizado y transportado en forma de azúcares simples a otras partes de la planta. Algunas de estos azúcares son re-convertidos en almidón de reserva en otras partes de la planta tales como los tallos, tubérculos o raíces. (McDonagh, 2012)

Este polisacárido se almacena en forma de gránulos, lo cual permite almacenar una gran cantidad de glucosa en una partícula reducida; el tamaño y la forma del gránulo son característicos de cada especie botánica (Badui, 2013). Estos gránulos están formados por moléculas de amilosa y/o amilopectina ordenadas de manera radial, lo cual le da su estructura rígida al gránulo de almidón. Estos cuerpos son birrefringentes, es decir, poseen dos índices de refracción, por lo cual, cuando se irradian con luz polarizada forman la “cruz de malta”. Esto se debe a que dentro del gránulo se localizan zonas cristalinas de moléculas de amilosa ordenadas en forma paralela a través de puentes de hidrógeno, así como zonas amorfas de amilopectina, que no tienen la posibilidad de asociarse entre sí o con la amilosa.

Los gránulos de almidón son relativamente duros e insolubles y se hidratan muy mal en agua fría. Pueden ser dispersados en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad y aumentando su diámetro en un 30-40 %. Esta capacidad es alcanzada solo cuando la suspensión de los gránulos es sometida a la acción del calor (Fennema, 2000). El almidón se encuentra compuesto por una mezcla de dos polímeros: un polisacárido lineal llamado amilosa y otro ramificado llamado amilopectina.

### 1.2 Amilosa

La amilosa es una cadena lineal que es el producto de la condensación de varias unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos 1-4. Tiene la facilidad de adquirir una forma tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Badui, 2013) El interior de la hélice contiene solo átomos de hidrógeno, por ende, es lipofílico, mientras que los grupos hidroxilo están situados en el exterior de la hélice (Fennema, 2000)



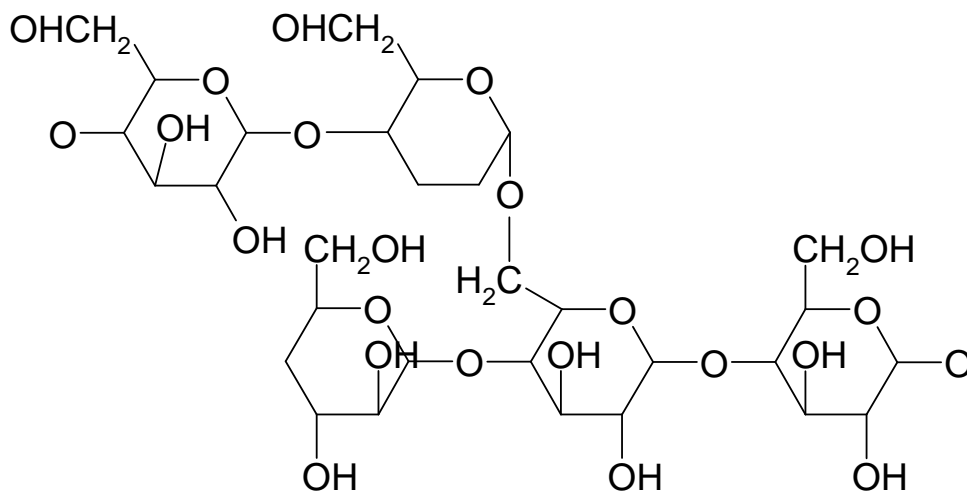
*Fig.1.1 Molécula de Amilosa (Imagen modificada de McDonagh, 2012)*

### 1.3 Amilopectina

La amilopectina es una cadena altamente ramificada, cuyos enlaces de ramificación constituyen el 4-5% del total de los enlaces. Consiste en una cadena que contiene el único extremo reductor, la cual tiene numerosas ramas, llamadas cadenas-B y unidas por enlaces Alfa-D (1-6), localizadas cada 15-20 unidades de la cadena lineal de glucosa (Badui, 2013), a las que se unen por su parte varias cadenas-A. Las ramas de las moléculas de amilopectina toman la forma de un racimo y se presenta como dobles hélices (Fennema, 2000).

Las ramificaciones de las cadenas de amilopectina forman dobles hélices y contribuyen a la estructura cristalina del gránulo. Dependiendo de la longitud de la cadena ramificada, se forman diferentes patrones de difracción de rayos X: A, B o C. La forma A consiste en cadenas ramificadas más cortas agrupadas en una celda monocíclica; la forma B presenta cadenas ramificadas más largas y agrupadas en una celda hexagonal. La forma C es una mezcla entre la forma A y la forma B. (Yongfeng, 2013)

La amilopectina está presente en todos los almidones; algunos almidones están formados exclusivamente por amilopectina y se les conoce como almidones céreos y se les llama así porque cuando se corta el grano la superficie que aparece es de aspecto vítreo o céreo (Fennema, 2000)



*Fig. 1.2 Molécula de amilopectina Imagen modificada de (McDonagh, 2012)*

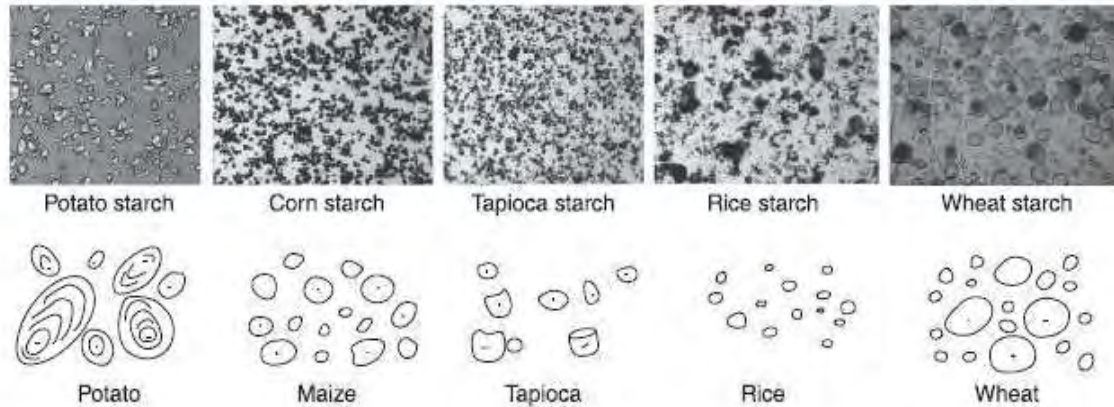
#### 1.4 Características de los almidones de acuerdo a su origen.

El origen de los almidones influye de sobremanera en las propiedades sensoriales finales de la solución. Como se mencionó anteriormente, las fuentes comunes del almidón son: papa, arroz, tapioca, maíz y trigo. (Manson, 2009)

- Maíz dentado: Los almidones de maíz son empleados como relleno y agente estabilizante. Las pastas cocinadas de este almidón son de alta viscosidad y de apariencia translúcida y producen geles opacos y textura short en el enfriamiento.

- Maíz Waxy: Este almidón contiene una alta proporción de amilopectina, lo cual da a la pasta cocida una mayor viscosidad y mayor claridad y, al ser prácticamente libre de amilosa, presenta una resistencia a la retrogradación y a la sinéresis durante el almacenamiento.
- Maíz de alto contenido de amilosa: La alta concentración del polímero lineal amilosa, deriva en la rapidez de formación del gel y aumento de la fuerza del mismo.
- Tapioca: El almidón de tapioca tiene un contenido de amilosa y de amilopectina de 18% y 23% respectivamente. Dan geles relativamente estables, claros en enfriamiento, debido a que la amilosa de la tapioca tiene un peso molecular mayor que la amilosa del maíz.
- Papa: Los gránulos de papa son largos y se solubilizan más fácilmente que los gránulos de almidones de cereales. Se producen pastas de alta viscosidad y una ligera apariencia granulada, que, en enfriamiento, se vuelven gomosas pero conservan su claridad, sin embargo, presentan tendencia a sinéresis.
- Trigo: Los gránulos de almidón son variables en el tamaño, pudiendo presentar gránulos largos o gránulos esféricos. Las propiedades reológicas de las pastas de almidón de trigo son similares a las de maíz, excepto que la viscosidad y la fuerza de la pasta son menores.
- Arroz: Produce una gran variedad de pastas, desde la pegajosa no-gelificante, hasta geles secos y firmes. Esta variedad se debe a que el arroz varía en su contenido de amilosa y puede ser clasificado en base a éste como waxy (1-2%) bajo (7-20%), intermedio (20-25%), y alto (mayor a 25%).

En la Tabla 1.1 se resumen las características más importantes de los almidones de acuerdo a su origen.



*Fig. 1.3 Gránulos de almidón de distintas fuentes (McDonagh, 2012)*

### 1.5 Gelatinización del almidón.

La gelatinización del almidón consiste en la pérdida de la cristalinidad del gránulo de almidón bajo condiciones de temperatura específicas. (Brifazz, 2013). Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría y no sufren ningún daño, pero en agua caliente, los gránulos sufren el proceso denominado gelatinización (Fennema, 2000). Este proceso ocurre a temperaturas arriba de los 60°C. Al calentarse la solución agua-almidón, se comienza a absorber líquido en las zonas intermicelares amorfas de amilopectina. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua por las moléculas de amilosa y amilopectina y el granulo comienza a hincharse (Badui, 2013), A su vez, las moléculas de amilosa y amilopectina salen al medio acuoso y, como la energía que se desprende de él es mayor que la atracción que las moléculas tienen entre sí, al encontrarse con las moléculas de agua se asociaran con ellas (Koppmann, 2011). Esto aumenta la viscosidad o espesamiento.

*Tabla 1.1 Características fisicoquímicas de los alimentos de acuerdo a su origen*

<b>Origen</b>	<b>Tamaño (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Amilosa %</b>	<b>Amilopectina %</b>	<b>Temperatura gelatinización (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Forma</b>	<b>Color</b>	<b>Sabor</b>	<b>Textura</b>
<b>Papa</b>	15-80	18-27	73-77	58-67	Ovalada	Blanco	Papa	Pegajosa
<b>Arroz</b>	2-8	15-19	80-85	62-78	Ovalada	Blanco	Neutro	Cremoso
<b>Maíz</b>	15-25	26-31	69-74	62-72	Hexagonal	Amarillo	Proteína	Firme
<b>Tapioca</b>	20-40	16-20	80-84	51-65	Ovalada	Blanco	Neutral	Pegajoso
<b>Trigo</b>	11-41	22-26	73-77	58-64	Ovalada	Gris	Cereal	Firme

Durante la gelatinización, las cadenas cristalinas se disocian, el gránulo de almidón pierde la cruz de Maltosa y se vuelve amorfo. (Yongfeng, 2013). Al final de éste proceso, se genera una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean al resto de los gránulos, también hidratados fuertemente. La cantidad de agua que absorben los diferentes almidones puede variar, pero se considera que va de 40 a 55 gramos de agua por cada 100 g de almidón (Badui, 2013).

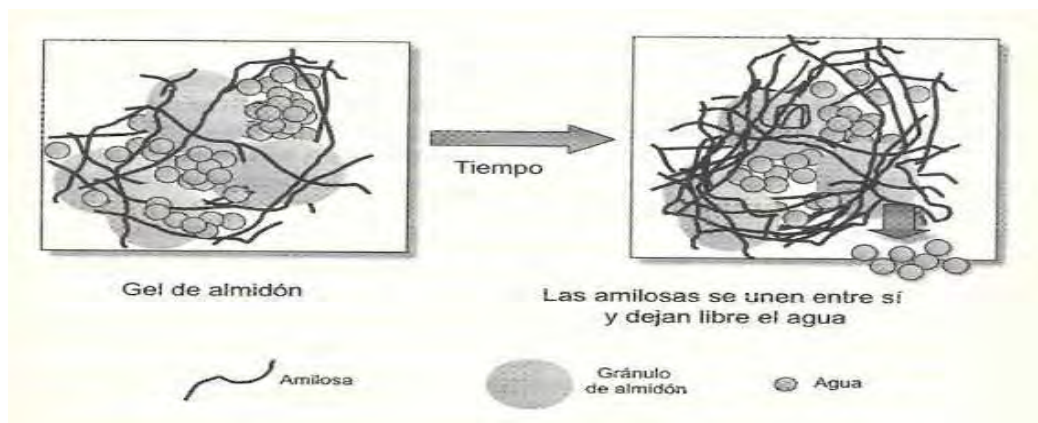
La determinación de la temperatura de gelatinización del almidón es comúnmente realizada mediante la técnica de Calorimetría Diferencial de Barrido, en la cual, se registra la diferencia entre el cambio de entalpía que ocurre en una muestra y un material inerte de referencia cuando ambos se calientan. Esta técnica registra de forma continua la capacidad calorífica aparente de una disolución de cualquier macromolécula en función de la temperatura, obteniendo como resultado un termograma en el cual se representa un pico de absorción de calor correspondiente a un proceso o transición térmicamente inducida. Esta determinación proporciona información acerca de la capacidad calorífica parcial absoluta del compuesto de interés y los parámetros termodinámicos globales (Cambios de entalpía, de entropía, de energía de Gibbs y de la capacidad calorífica) asociados a la transición inducida por la temperatura. (Sandoval, Rodríguez, & Fernández, 2005)

La temperatura de gelatinización representa la estabilidad al calor de los cristales, la cual está relacionada con la longitud de las dobles hélices, donde el cambio de entalpía representa la energía requerida para romper el orden molecular y está asociado con la cristalinidad y el orden molecular del almidón. (Kai Wanga, 2015). El grado de gelatinización de un almidón es un criterio útil que refleja el grado de cocción y digestibilidad de un almidón. (Briffaz A., 2014)

#### 1.6 Retrogradación del almidón

La retrogradación es la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas que conforman el almidón, especialmente la molécula de amilosa, debido a que las

cadena lineales de ésta se orientan de forma paralela y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos. El almidón pasa de un estado desordenado a un estado más ordenado y cristalino (Badui, 2013) (Zong-qiang Fua, 2013). Este fenómeno se da tanto en preparaciones espesadas con almidón, como en una que ha gelificado. Al presentarse la atracción entre moléculas de amilosa se forma una red que sigue creciendo en el tiempo, por lo tanto, entre más se acerquen



*Fig. 1.4 Retrogradación del Almidón. (Koppmann, 2011)*

las cadenas de amilosa, mayor cantidad de agua saldrá de la red, logrando un gel cada vez más compacto y con menos cantidad de agua (Koppmann, 2011). Las etapas de la retrogradación del almidón son la siguientes: nucleación (formación de cristales), propagación (crecimiento de los cristales formados durante la nucleación) y la maduración de los cristales. Las temperaturas de nucleación y propagación son influenciadas por la temperatura de almacenamiento. (Shannon Jack C., 2009)

Cada tipo de almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, la cual está relacionada directamente con su contenido de amilosa; es más difícil que la amilopectina la desarrolle debido a que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrógeno entre moléculas adyacentes. (Badui, 2013). Entre otros factores que afectan la velocidad de la retrogradación son la temperatura, el

contenido de agua, la presencia de lípidos, hidrocoloides, azúcares y la fuente botánica del almidón. (Ambigaipalan, Hoover, Donner, & Liu, 2013)

La retrogradación ocurre durante el almacenamiento de un almidón gelatinizado y se da como un proceso espontáneo en el que se trata de llegar a un estado de bajo consumo de energía. Se caracteriza por un incremento en la firmeza del gel, exudación de agua y la aparición de un patrón tipo “B”. En alimentos, la retrogradación del almidón durante el almacenamiento afecta de manera negativa la textura, estabilidad, calidad, digestibilidad y funcionalidad del producto. (Zong, 2013)

### 1.7 Modificación de la estructura de almidones.

Debido a la funcionalidad de los almidones, éstos son ampliamente usados en la industria alimentaria, sin embargo, muchas de sus propiedades funcionales se pierden con el calentamiento o al ser combinado con algunos ingredientes. Es por eso, que en los últimos años se han recurrido a modificaciones en los almidones a fin de conferirles propiedades funcionales que de manera natural no tienen. Existen diversos procesos para su fabricación y pueden ser llevados a cabo mediante procesos químicos y/o físicos, los cuáles serán detallados a continuación:

#### 1.7.1 Métodos químicos.

##### 1.7.1.1 Esterificaciones

Acetilación: Consiste en la esterificación del almidón nativo con anhídrido acético o acetato de vinilo, bajo condiciones alcalinas, en la cual se sustituyen los grupos hidroxilos del almidón por grupos acetilos. La reacción ocurre con la liberación de acetaldehído, el cual puede ser removido por lavado. Esta modificación disminuye la opacidad de los geles, asimismo, disminuye la temperatura de gelatinización y aumenta la estabilidad del almidón frente a la retrogradación y a los ciclos de congelación-descongelación. (Fennema, 2000) (Alistair, Philipps, & Williams, 2006)

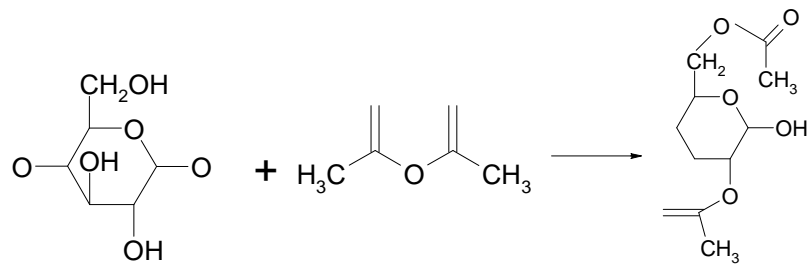


Fig. 1.5 Reacción de acetilación del almidón

La acetilación hace posible que en almidones de alto contenido de amilosa no exista dispersión a temperaturas de 90-100°C, haciendo posible la cocción a condiciones suaves y económicas. De igual manera, la acetilación estabiliza almidones modificados, en especial, almidones de enlaces cruzados, ya que éstos presentan tendencia a presentar sinéresis cuando son almacenados a bajas temperaturas o sometidas a ciclos de congelación-descongelación. (Alistair, et.al., 2006)

El Grado de Sustitución (molécula sustituida) por la Food and Drug Administration es de 0.1 o 2.5% de acetato por masa de almidón a modificar (Manson, 2009).

Son utilizados en alimentos que requieren mayor resistencia en el gel. La mayor parte de las aplicaciones se centran alrededor de la estabilización de almidones cruzados. Los alimentos en los cuáles pueden ser aplicados son productos horneados, rellenos de pie, cremas enlatadas y salsas. (Alistair, et.al., 2006)

#### 1.7.1.2 Esteres monofosfatados de almidón.

Se prepara mediante el calentamiento de almidón con ortofosfato alcalino o tripolifosfato alcalino a una temperatura de 120-175°C. El grupo hidroxilo del almidón es esterificado por el compuesto fosfórico hasta llegar a un grado de sustitución del 0.07. (Fennema, 2000) (Alistair, et.al., 2006)

Esta modificación le imparte a las pastas de almidón mayor viscosidad, claridad, texturas cohesivas, propiedades emulsificantes y una mayor estabilidad, además de que abate la temperatura de gelatinización y aumenta su estabilidad al almacenamiento a bajas temperaturas y a ciclos de congelación-descongelación. (Alistair, et.al., 2006) (Fennema, 2000). Son empleados en la industria de alimentos como estabilizantes y espesantes, especialmente en alimentos congelados. Debido

a su carácter aniónico y sensibilidad a cationes polivalentes, estos almidones trabajan mejor en alimentos que son libres de sal o ácido (Alistair, et.al.,2006) (Manson, 2009)

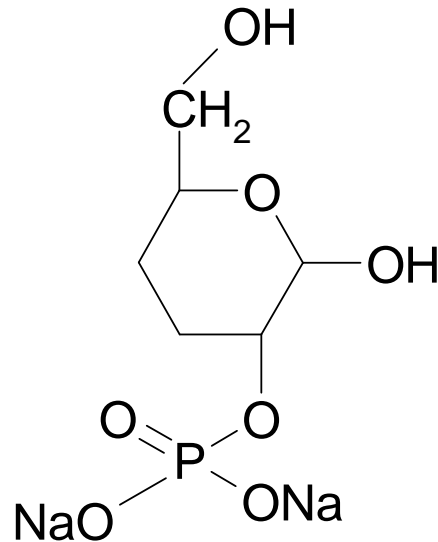


Fig. 1.6 Reacción de fosforilación de almidón Imagen modfiicada de Alistair, et.al., 2006

#### 1.7.1.3 Esterificación del almidón con alquenilsuccinato.

Esta modificación une una cadena hidrocarbonada a las moléculas de almidón. El grupo octenil interrumpe la linealidad de la amilosa, por lo cual, estabiliza la dispersión contra la gelificación y disminuye la temperatura de gelificación. Se prepara con una suspensión acuosa de almidón más octenil succinato anhidro al 3.0 % de la masa del almidón a pH 7 (Alistair, et.al., 2006). Esto corresponde a un grado de sustitución del 0.02% (Manson, 2009)

Incluso a Grados de Sustitución muy bajos, las moléculas de 1-octenilsuccinato de almidón se concentran en la interfase de una emulsión aceite en agua, a causa de la hidrofobicidad de la cadena carbonada. Debido a esto, son muy útiles como estabilizadores de emulsiones. Se emplean en caso en los que se desea estabilidad de una emulsión, en sabores para bebidas y sustitutos de goma arábica en emulsiones (Alistair, et.al., 2006) Asimismo, pueden ser usados como sustitutos de

grasa parcial debido a que la cadena alifática tiene a proporcionar un perfil de sabor graso (Fennema, 2000)

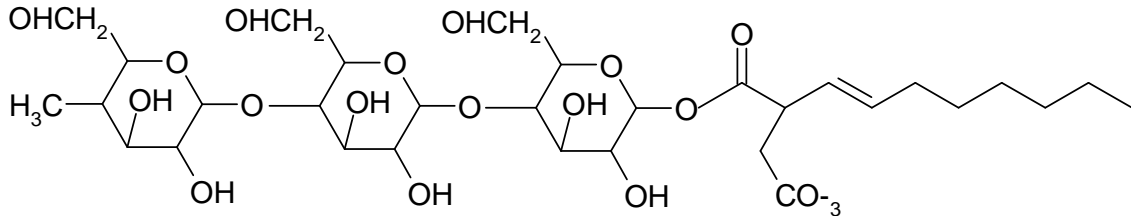


Fig. 1.7. Éster de alquénilsuccinato de almidón. (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009)

#### 1.7.1.4 Hidroxipropilación de almidón

Consiste en la reacción de la molécula de almidón con óxido de propileno en condiciones alcalinas. Se prepara una solución de almidón al 40-45% a la cual se le agrega NaOH y el óxido de propileno. La hidroxipropilación toma lugar en el hidroxilo secundario en la posición C-2 (Alistair, et.al., 2006).

Esta modificación disminuye la temperatura de gelatinización, se forman pastas claras que no sufren retrogradación y son resistentes a ciclos de congelación-descongelación. Son empleados como espesantes y agentes de extensión. Para mejorar el parámetro de la viscosidad, pueden ser sometidos a entrecruzamientos con grupos fosfato (Alistair, et.al., 2006) (Fennema, 2000).

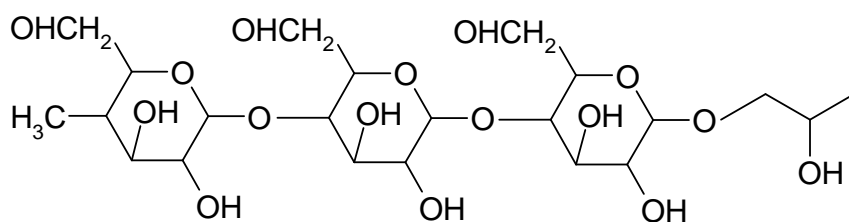


Fig. 1.8. Reacción de hidroxipropilación de almidón (Alistair, et.al., 2006)

#### 1.7.1.5 Entrecruzamiento de almidones

Esta modificación implica una reacción con agentes disfuncionales. Dos grupos hidroxilo de distintas moléculas de almidón reaccionan con un agente disfuncional

(Fennema, 2000), siendo éste el “puente o cruce” entre los dos almidones. Existen dos maneras de obtener estos almidones: (Alistair, et.al., 2006)

- Diamidón adipatado: Consiste en una suspensión de almidón más una mezcla de ácido adipico más acético anhídrido bajo condiciones alcalinas.
- Dialmidón fosfatado: Consiste en una suspensión de almidón más oxiclورو de fosforo o trimetafosfato de sodio bajo condiciones alcalinas.

Estas modificaciones refuerzan al gránulo y reducen el grado de hinchamiento, por lo cual son menos sensibles a las condiciones del procesado (Belitz, et.al., 2009) (Fennema, 2000). Dan pastas cocidas más viscosas, con estabilidad al agitación y al calentamiento, con más cuerpo y menos degradación. Además, presentan una gran estabilidad a valores de pH ácidos y a altas temperaturas (Belitz, et.al., 2009) (Badui, 2013).

Utilizados en alimentos enlatados por su baja velocidad de gelatinización e hinchamiento, congelados, horneados, desecados, alimentos infantiles y rellenos de frutas y tartas, aumentan la vida útil y la conservación. En caso de realizar la modificación en un almidón céreo, éste da pastas claras, por lo cual, se aplica en relleno de tartas y pays (Fennema, 2000)

Dan una textura no cohesiva y pastosa, en comparación con la textura cohesiva y gomosa de los almidones nativos (Alistair, et.al., 2006).

#### *1.7.1.6 Éterificación de almidón*

Consiste en la eterificación de una molécula de almidón con óxido de etileno u óxido de propileno. Se prepara con una suspensión de almidón de 30-40% más la base catalizadora (0.5 a 1%). Sales como cloruro de sodio o sulfato de sodio son añadidas para la protección del gránulo. La mezcla es calentada entre los rangos de temperatura de 45 a 52 °C alrededor de 24 horas. (Bergthaller, 2004)

Aumenta la solubilidad y disminuye la temperatura de gelatinización. De igual manera, aumenta la estabilidad al congelamiento y la claridad de la pasta. Da soluciones altamente viscosas. Son empleados como espesantes para postres refrigerados y alimentos enlatados. (Belitz, 2009)

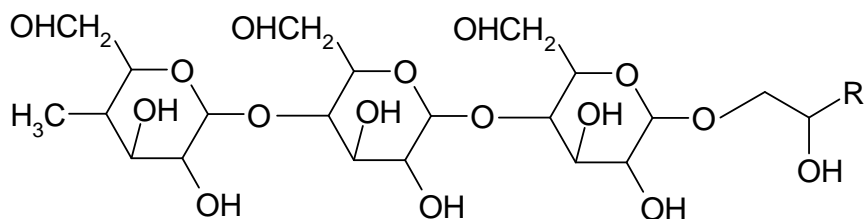


Fig. 1.9 Eterificación de almidón (Belitz, 2009)

#### 1.7.1.7 Oxidación de almidón

Existen dos maneras de obtener almidones oxidados: (Alistair, 2006)

- Blanqueamiento: Reacción con bajos niveles oxidantes como ácido peracético, peróxido de hidrógeno o permanganato de potasio
- Clorinación: Reacción con hipocloritos

Mediante la oxidación se logra la despolimerización de la amilosa y amilopectina, se reduce el incremento de tamaño de los gránulos y la viscosidad de la pasta. Disminuye la temperatura de gelatinización y aumenta la solubilidad de los gránulos (Davidson, Salminen, & Thorngate, 2002)

La reacción de oxidación por hipocloritos se lleva típicamente en gránulos intactos y causa que el granulo se disuelva. Si la reacción se lleva a cabo en pH neutro o ácido, se favorece la oxidación de los grupos ceto, en cambio, a pH básico, se promueve la oxidación de grupos carboxilo (Alistair,2006). La introducción del grupo carbonilo aumenta la repulsión electrónica, con lo cual la retrogradación y asociación son reducidas. (Manson, 2009).

Son usados como rellenos de baja viscosidad para aderezos (Belitz, 2009).

#### 1.7.1.8 Acidificación del almidón

Se logra mediante una suspensión del 36-40% de almidón y una concentración de ácido al 7% en el caso de ácido clorhídrico o 2% en el caso de ácido sulfúrico. Dicha suspensión se lleva a una temperatura de 40 a 60 grados centígrados y agitación por varias horas (Davidson, 2002)

La viscosidad de la pasta caliente de este almidón es mucho menor que la de un almidón nativo, como resultado, estos almidones pueden ser dispersados a altas

concentraciones. Forman geles opacos al enfriarse (Alistair, 2006) El ácido solo hidroliza las regiones amorfas del gránulo y muy poco o nada las cristalinas. Debido a su baja viscosidad se emplean en caramelos con texturas gomosas (Badui, 2013)

#### *1.7.1.9 Hidrolización del enlace glucosídico de almidón*

Esta reacción reduce la viscosidad del almidón y posibilita su uso a altas concentraciones. Además, también afecta la temperatura de gelatinización, la fuerza del gel y las propiedades adhesivas. Dependiendo de las condiciones de la reacción, pueden obtenerse varios tipos de almidones. (Alistair, 2006)

#### *1.7.1.10 Dextrinificación del almidón*

Se obtienen mediante el calentamiento de almidones a 100-200 grados Celsius con bajas cantidades de ácido o base (Belitz, 2009) Dependiendo de las condiciones a las cuales se lleve el proceso de dextrinificación, pueden ocurrir las siguientes reacciones: a) Hidrolisis, b) transglucosidación, c) repolimerización. De acuerdo a la reacción predominante, el producto puede ser una dextrina blanca, una dextrina amarilla o una goma británica. (Alistair, 2006)

En las dextrinas, se aumenta la solubilidad en agua fría y la fuerza de gel. Son usadas cuando se necesita que las dispersiones o soles contengan un gran número de sólidos. Empleadas en confitería y como carriers en saborizantes, especias y colorantes (Manson, 2009).

### 1.7.2 Modificaciones físicas.

#### *1.7.2.1 Pregelatinización del almidón*

Consiste en la gelatinización y desecado del almidón sin retrogradación (Fennema, 2000) produciendo un producto hidratado, el cual es muy soluble en agua fría. Se emplea en alimentos instantáneos, como sopas y pizzas preparadas, aderezos bajos en grasa, rellenos con alto contenido de sólidos y rellenos de panadería. (Davidson, et.al., 2002).

#### *1.7.2.2 Almidones modificados mecánicamente.*

Se obtiene mediante molienda o por la aplicación de presión. La porción amorfa se incrementa y se mejora la dispersabilidad y solubilidad en agua fría, desciende la temperatura de gelatinización y la vulnerabilidad enzimática (Belitz, 2009).

#### *1.7.2.3 Preparación de gránulos instantáneos de almidón*

Se dispersa el almidón en una mezcla de agua y alcohol; la mezcla se pone bajo condiciones de tiempo, temperatura y presión adecuadas para crear el almidón instantáneo. El alcohol mantiene la integridad del gránulos y retrasa su solubilización (Davidson, et.al.,2002).

#### *1.7.2.4 Extrusión de almidón*

Una mezcla de almidón-agua es sometida a calor y a cizallamiento, con lo cual, se reduce el contenido de humedad del almidón (Davidson, et.al., 2002). El proceso daña los gránulos, lo cual provoca una disminución de la viscosidad (Manson, 2009).

### *1.8 Criterios para el uso de almidones en alimentos*

Como se ha mencionado anteriormente, los almidones tienen varias funciones en la industria alimenticia como espesantes, gelificantes y emulsificantes, sin embargo, se deben considerar varios factores para la elección del almidón más adecuado de acuerdo al alimento que se desee preparar (Alistair, et.al., 2006). Los factores a considerar son:

- Función específica del almidón en el alimento.
- Procesamiento del alimento (Temperaturas, fuerzas de cizalla)
- Sistema de pH del alimento
- Postproceso del producto
- Almacenaje del producto (Condiciones y tiempo) (Alistair, et.al., 2006)

Asimismo, se debe considerar la presencia de otros ingredientes que puedan afectar la funcionalidad del almidón, ya que los factores mencionados anteriormente afectan principalmente a una solución agua-almidón, sin embargo, el agregar otros ingredientes puede afectar de manera considerable la viscosidad de la solución: (Koppmann, 2011), (Manson, 2009) (Davidson, et.al., 2002)

- Agua: Esencial para la funcionalidad del almidón, además, debe cuidarse su sistema de purificación, ya que, la presencia de algunos productos químicos usados para tal fin, pueden afectar la funcionalidad y química del almidón.

- Sales: Las sales de calcio incrementan la fuerza de los geles formados y las sales de potasio tienen el efecto contrario. Además, existen almidones que disminuyen su funcionalidad por la presencia de sales en el alimento.
- Proteínas: Las proteínas presentes en un alimento pueden formar complejos con sales, los cuales pueden volverse partículas grises y oscuras que crean texturas indeseables. Además, compiten por el agua presente en el alimento
- Lípidos y surfactantes: Afectan la viscosidad de la pasta y pueden modificar la sensación en la boca del consumidor. Los lípidos pueden interferir en el hinchamiento de los gránulos. En el caso de los surfactantes, las largas cadenas hidrocarbonadas y los monoesteres de glicerol pueden formar complejos con el almidón.
- Otros hidrocoloides: La presencia de otros hidrocoloides puede dar una relación sinérgica en el mejoramiento de la textura, además, puede ser posible necesitarlo en aquellos casos en el que almidón no sea resistente a ciertos procesos o condiciones de almacenamiento o se requiera disminuir su retrogradación.
- Ácidos: Si se agrega ácido a la solución, éste favorecerá la ruptura de las amilosas y por lo tanto la viscosidad será menor.
- Azúcar o alcohol: Debido a que estos ingredientes compiten con los almidones por el agua, aunque se agregue mayor cantidad de almidón, la solución no espesará.
- Enzimas: La alfa amilasa corta el almidón y disminuye el tamaño de las amilosas, como resultado, la preparación disminuirá su viscosidad.

### 1.9 Legislación

El término “legislación alimentaria” es empleado para referirse al conjunto de leyes que regula la producción, el comercio y la manipulación de alimentos, y por ende abarca la regulación del control de los alimentos, la inocuidad y los aspectos pertinentes al comercio de los mismos. En la legislación alimentaria se establecen

los requisitos mínimos de calidad para garantizar que los alimentos productos no estén adulterados ni sujetos a ninguna práctica fraudulenta destinada a engañar al consumidor. (FAO , 2017)

En cada país existen organizaciones sanitarias que se encargan de regir las leyes y normas aplicables al rubro alimenticio, entre las cuales destacan las normas aplicables a el uso de aditivos en la producción de alimentos. Asimismo, existen organismos internacionales a los cuales se apegan todas las legislaciones nacionales. Al estar definidos los almidones modificados como aditivos, éstos son sujetos a las leyes y normas vigentes.

El Comité Mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA por sus siglas en inglés) es un comité internacional de expertos administrado conjuntamente por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se dedica esencialmente a evaluar la inocuidad de los aditivos alimentarios mediante estudios de evaluación de riesgos, exposición; así como de emitir las especificaciones y métodos analíticos para la evaluación de los mismos. (FAO , 2017)

El Comité clasifica al almidón modificado como espesante, estabilizante, emulsificante y aglutinante, no especificando una ingestión diaria aceptable. (FAO , 2014)

La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) es el organismo responsable de la regulación en Estados Unidos de América de alimentos, medicamentos, cosméticos, aparatos médicos y productos biológicos. (FDA, 2017) Dichas especificaciones se encuentran en el Código Federal de Regulaciones (CFR por sus siglas en inglés), el cual es un una codificación de las reglas generales y permanentes publicadas en el Registro Federal. El Título 21 del Código Federal es reservado para las normas aplicadas en la Administración de Alimentos y Medicamentos. El CFR Title 21 establece que los almidones modificados son seguros para su uso en alimentos; la cantidad empleada de cualquiera de estas sustancias en el alimento no debe de exceder la cantidad razonable para causar un efecto físico en el alimento. Asimismo, el CFR Title 21

contiene la lista de almidones modificados permitidos para su uso en alimentos, los reactivos empleados para su modificación y las cantidades permisibles de estos reactivos. (CFR Title 21, 2016)

En México, el uso de almidones modificados se encuentra regulado por el ACUERDO por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias; emitido por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), el cual es el Organismo que ejerce las acciones de regulación, control y fomento sanitario. En dicho acuerdo se definen las funciones de los almidones modificados como: estabilizante, espesante, aglomerante, emulsificante, antiaglutinante, coadyuvante de elaboración, incrementador de volumen y gelificante, asimismo, se enlistan los almidones modificados permitidos para su uso en alimentos. Se encuentran en el ACUERDO en el apartado de Aditivos con diversas Clases Funcionales que pueden ser utilizados de acuerdo con Buenas Prácticas de Fabricación (BPF). (Salud, 2012)

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA por sus siglas en inglés) se encarga de dar asesoramiento científico independiente acerca de los riesgos relacionados con los alimentos para aplicar en la legislación y las políticas europeas. Dicho organismo se encarga de la evaluación de seguridad de los aditivos. (EFSA, 2017). Una vez que se ha demostrado que el aditivo es inocuo para su consumo, es identificado mediante un Número E, con el cual, todos los aditivos son incluidos en una lista. Los almidones modificados se encuentran listados desde el Número E1410 al E1452. (Food Standards Agency, 2016)

Tabla 1.2 Almidones modificados permitidos por JEFCA, COFEPRIS Y Unión Europea

(FAO , 2014) (Salud, 2012), (Food Standards Agency, 2016)

Almidón Modificado	Legislación		
	JEFCA	México	Unión Europea
Almidón de Dextrina Tostado	✓	✓	
Almidón Tratado con Ácido	✓	✓	
Almidón tratado con Alcalís	✓	✓	
Almidón Blanqueado	✓	✓	
Almidón Oxidado	✓	✓	✓
Almidón tratado con enzimas	✓	✓	
Fosfato de almidón	✓	✓	✓
Fosfato de dialmidón	✓	✓	✓
Difosfato de dialmidón	✓	✓	✓
Fosfato de dialmidón acetilado	✓	✓	✓
Acetato de almidón	✓	✓	✓
Adipato de dialmidón acetilado	✓	✓	✓
Almidón Hidroxipropilado	✓	✓	✓
Fosfato de Hidroxipropil dialmidón	✓	✓	✓
Almidón Octenilsuccinato de sodio	✓	✓	✓
Almidón oxidado acetilado	✓	✓	✓

## Capítulo 2. Uso de almidones modificados en productos lácteos.

### 2.1 Composición química de la leche.

De acuerdo al Codex Alimentarius se denomina como leche a la secreción mamaria normal de animales lecheros obtenidos mediante uno o más ordeños sin ningún tipo de adición o extracción, destinados al consumo en forma de leche líquida o a elaboración ulterior. (Codex STAN 206, 1999)

Es un líquido blanco que segregan de manera natural las glándulas mamarias de los mamíferos, excluido el calostro y que es útil para el alimento de sus crías. Este líquido contiene todos los nutrientes que son necesarios para el desarrollo del recién nacido y su composición varía de acuerdo al origen, alimentación, clima, periodo de lactancia, estado de salud del animal y administración de hormonas y medicamentos (Badui, 2013) (Ramesh C., 2006); en el caso de la leche de Vaca, la composición general es la siguiente:

*Tabla 2.1 Composición general de la leche (Badui, 2013)*

<b>Nutriente</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Agua</b>	87%
<b>Lactosa</b>	4.8%
<b>Grasa</b>	3.7%
<b>Proteína</b>	3.4%
<b>Minerales</b>	0.7%

La leche de vaca tiene una gran importancia en la alimentación humana, ya sea en su forma natural o de derivados lácteos. Este líquido es sintetizado en las glándulas mamarias de la vaca, pero una parte de sus constituyentes provienen del suero de la sangre. Sus componentes se encuentran en equilibrio en tres formas diferentes: emulsión, suspensión coloidal y “solución verdadera” (Ramesh C., 2006).

### 2.1.1 Lípidos

La fracción lipídica de la leche es una de las más complejas presentada por la naturaleza. Representa del 3.3 al 3.7% del total de la leche y su composición está dividida en tres clases: (Fox, 2009), (Ramesh C., 2006)

- Lípidos neutros: Ésteres de glicerol con uno, dos o tres ácidos grasos (mono, di y triglicéridos). Es la clase de lípidos dominante en la mayoría de los alimentos, representando el 98.5% de los lípidos totales de la leche.
- Lípidos polares: Mezcla de ésteres de ácidos grasos de glicerol o esfingosina, muchos contienen ácido fosfórico o compuestos nitrogenados. Funcionan como emulsificantes, por lo cual, mantienen los lípidos de la leche como pequeños glóbulos.
- Lípidos varios: Grupo heterogéneo de compuestos lípidos que no están relacionados entre sí como el colesterol, los carotenoides y las vitaminas liposolubles.

Es una de las fracciones lipídicas más complejas de la naturaleza, con la peculiaridad de su alto contenido en ácido butírico, el cual, sólo se encuentra en este alimento. Se presentan en la leche en forma de glóbulos que varían en su diámetro de 0.1 a 22 micrometros y están contenidas dentro de ella en forma de emulsión. (Ramesh C., 2006) (Fox, 2009)

### 2.1.2 Lactosa

Es el principal carbohidrato presente en la leche, la cual es la única fuente conocida de este azúcar. Su síntesis ocurre en la glándula mamaria mediante un sistema enzimático. Es un disacárido que está conformado por una molécula de galactosa y otra molécula de glucosa mediante un enlace glucosídico  $\beta$  1,4. Es un azúcar reductor, por lo tanto, interfiere en las reacciones de Maillard. Existe en dos formas isoméricas,  $\alpha$  y  $\beta$ , que se diferencian en sus propiedades físicas como poder rotatorio, temperatura de fusión y solubilidad; ambas son solubles, sin embargo, las soluciones de lactosa tienden al equilibrio, por lo que siempre habrá mayor cantidad de forma  $\beta$  que  $\alpha$ , ya que la primera es más hidrosoluble. Solo tiene el 20% del poder edulcorante de la sacarosa y contribuye al sabor de la leche. Provee el 30%

de las calorías en la leche de vaca y es responsable del 50% de la presión osmótica de la leche, la cual es isotónica con la sangre. Es la fuente principal de carbono para los microorganismos ácidos lácticos en la manufactura de los productos lácteos fermentados. (Fox, 2009) (Badui, 2013)

### 2.1.3 Proteínas

Las proteínas de la leche se pueden clasificar en dos grandes grupos: Caseínas y seroproteínas o proteínas del suero y su proporción está en 80% y 20% respectivamente. (Badui, 2013)

Las caseínas son fosfogluco proteínas que precipitan de la leche descremada a pH 4.6 y a 20 °C, estabilizadas por carga negativa y existen 4 fracciones:  $\alpha$  (que a su vez se divide en S1 y S2),  $\beta$ ,  $\kappa$ , y  $\gamma$ . Todas las fracciones están asociadas entre sí e integran las micelas de caseína. Son estables al calor, contienen altos niveles de prolina y son proteínas fosforiladas. Los modelos de caseína sugieren que ésta esta formada por el 15% de  $\kappa$ -caseína y 85% de  $\alpha$ -s1,  $\alpha$ -s2 y beta caseínas. La kappa caseína está colocada de tal forma que es capaz de estabilizar la sensibilidad de las otras caseínas al fosfato de calcio coloidal. El modelo más popular sugiere que la región hidrofílica del C- terminal de la kappa caseína sale de la superficie de la miscela de caseína, dándole a ésta una apariencia de “pelo”. Esta protuberancia le da la estabilidad coloidal a la miscela de caseína, ya que, si éste es retirado, la miscela de caseína colapsa. (Fox, 2009)

Las proteínas del suero son proteínas globulares y compactas. Al igual que en las caseínas, existen 5 tipos de proteínas del suero, las cuáles son:  $\beta$ -lactoglobulina  $\alpha$ -lactoalbúmina, albúmina bovina sérica, lactoferrina y las inmunoglobulinas. (Badui, 2013)

Están contenidas en la fase coloidal de la leche; las proteínas del suero se presentan como una solución coloidal y las caseínas en una suspensión coloidal. La lactosa, vitaminas hidrosolubles, ácidos, enzimas y sales inorgánicas están presentes como solución verdadera. (Badui, 2013)

## 2.2 Productos derivados de la leche

A partir de la leche fresca se pueden obtener varios productos derivados, como los siguientes: (Badui, 2013)

- Leche pasteurizada y ultrapasteurizada.
- Leche descremada.
- Leche evaporada
- Leche condensada
- Leche en polvo.
- Quesos.
- Yogurt
- Helados
- Postres lácteos.
- Crema
- Cremas enlatadas

Cada producto requiere de condiciones de proceso especiales y aditivos para mantener su estabilidad.

## 2.3 Uso de almidones en producto lácteos e interacción con componentes de la leche.

Productos lácteos como postres, yogurt, queso, crema y helado pueden requerir la utilización de almidón en su formulación. Su principal función es la de estabilizante de la fase acuosa en el producto, (Davidson, et.al., 2002) aunque también se emplea como texturizante y gelificante en postres lácteos (Saunders, 2011) en combinación con la carragenina. También son empleados porque incrementan la viscosidad, mejoran la palatabilidad y evitan la pérdida del suero de leche (Ramírez Sucre & Vélez-Ruiz, 2009)

### 2.3.1 Interacciones del almidón con lactosa.

Como se ha mencionado anteriormente, la lactosa es un disacárido con las características propias de un azúcar. Los azúcares afectan el comportamiento de una solución almidón-agua debido a que compiten por el agua disponible, lo cual implica un aumento en la temperatura y entalpía de gelatinización del almidón. Esto

puede variar de acuerdo al origen botánico del almidón, si es nativo o modificado o al tipo de azúcar empleado. Galkowska determino el efecto de varios azúcares (entre ellos lactosa) en almidones nativos y modificados de papa y encontró que los sistemas conformados por almidón-agua-disacáridos producen un aumento mayor a la temperatura de gelatinización que aquellos formados por almidón-agua-monosacáridos. (Gałkowska, 2008).

En el caso de la retrogradación del almidón, se encontró que la adición de glucosa, fructosa y sucrosa a almidones modificados como almidones oxidados y almidón difosfatado tienden a reducir la retrogradación del almidón, sin embargo, la adición de lactosa tiene el efecto contrario. (Gałkowska, 2008)

### 2.3.2. Interacción de almidón con proteínas lácteas.

El uso de almidones en productos lácteos como postres afecta en propiedades sensoriales como el color, sabor y textura (Arancibia, Castro, Jublot, Costell, & Bayarri, 2015) Sin embargo, no se ha demostrado una real interacción entre las proteínas lácteas y el almidón cuando está de por medio la carragenina, ya que existe una tendencia a la interacción carragenina-caseína (Matignon, y otros, 2014). En el caso de las mezclas almidón-proteínas lácteas, sin presencia de carragenina, se han denotado ciertas interacciones de acuerdo a la fuente de origen del almidón, a la concentración de éste y a la presencia/ausencia de ingredientes lácteos. (Considine, y otros, 2011).

### 2.3.3 Interacción de almidón con los lípidos

La presencia de lípidos modifica las propiedades fisicoquímicas del almidón. El grado de hinchamiento del almidón y el desarrollo de la viscosidad es usualmente inhibida por el material lipídico, sobre todo, en almidones procedentes de cereales en los cuáles, el material lipídico impide la hidratación e hinchamiento del gránulo, debido a que se cubre el granulo causando que se incremente la temperatura de gelatinización del almidón. En el caso de la retrogradación, los lípidos afectan de acuerdo a su naturaleza y tipo, presentando mayor efecto las cadenas cortas. (Eliasson & Wahlgren, 2000). Sin embargo, la concentración de los lípidos tiene

gran importancia en la alteración del desarrollo de la viscosidad del almidón (Tang & Copeland, 2007)

En los últimos años, se ha recomendado una reducción en el consumo de grasa, en particular, de grasas saturadas, debido al aumento de la obesidad y de las enfermedades cardiovasculares; es por ello, que la industria alimentaria ha buscado sustitutos de grasa que aporten las mismas características sensoriales que la grasa. En el caso de los productos lácteos, la grasa es el principal determinante para la percepción de la cremosidad, por lo cual, se ha explorado el uso del almidón como sustituto de grasa debido a que provocan el aumento de la cremosidad y viscosidad del producto, así como la retención de agua en los alimentos.

## Capítulo 3. Uso de almidones modificados en yogurt.

---

### 3.1 Yogurt

De acuerdo a la *Norma Oficial Mexicana NOM-181-SCFI-2010, Yogurt-Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba*, el yogurt es el producto obtenido de la fermentación de leche, estandarizada o no, por medio de la acción de microorganismos *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus*, teniendo como resultado la reducción del pH.

Este alimento es preparado mediante la adición de las bacterias mencionadas anteriormente a la leche, cuya fermentación se lleva a cabo bajo condiciones y temperaturas controladas. Las bacterias ingieren los azúcares naturales presentes en la leche y los convierten a ácido láctico con una subsecuente disminución del pH. La acidez causa que las caseínas coagulen en una masa sólida. (Fatih, 2010)

Los microorganismos empleados para la obtención del yogurt son: *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus*. Dichos microorganismos forman una mezcla simbiótica entre ellos, ya que, a pesar de que pueden crecer de manera independiente, producen mayor acidez cuando son usados juntos, además, de que cada una segrega factores de crecimiento útiles para la otra. *S. thermophilus* tiene una tasa de crecimiento mayor que *L. bulgaricus* y producen ácido fórmico a partir del ácido pirúvico en condiciones anaeróbicas, formando dióxido de carbono, el cual, es potenciador del crecimiento de *L. bulgaricus*. Este, a su vez, favorece el crecimiento de los estreptococos por formación de péptidos pequeños y aminoácidos, principalmente valina. Los estreptococos son los responsables de la formación del sabor y la textura del yogurt y del descenso inicial del pH a 5, mientras que los lactobacilos disminuyen el pH hasta 4. (Walstra, Geurts, & al., 2001) (Fatih, 2010)

En el proceso de fermentación, los microorganismos empleados producen sustancias que, además de contribuir a la estructura y consistencia del yogurt,

determinan su sabor. Los principales compuestos son los siguientes: (Walstra, et.al.,2001)

- **Ácido láctico:** Ambos microorganismos forman ácido láctico a partir de la fermentación de la lactosa. Dicho compuesto contribuye al descenso de pH del yogurt y está presente en cantidades de 0.7-0.9% p/p.
- **Acetaldehído:** Este compuesto es fundamental para el aroma característico del yogurt. La mayor parte de este aldehído está sintetizado por los lactobacilos a partir de la treonina. Está presente en concentraciones de 0.2 mM.
- **Diacetilo:** Lo produce en mayor medida *S. thermophilus* mediante la conversión de ácido pirúvico como precursor. Está presente en concentraciones de 0.01-0.02 mM.
- **Polisacáridos:** Las bacterias del yogurt pueden formar un glicocalix, que son cadenas de polisacáridos constituidos por galactosa y otros glúcidos. Pueden secretarse parcialmente a la leche y desempeñan un papel importante en la consistencia del yogur.

### 3.2 Tipos de Yogurt:

- **Firme:** Yogurt sólido en el cual la fermentación ha ocurrido en el empaque.
- **Batido:** Yogurt que ha sido fermentando en un reactor o contenedor y empacado posteriormente. El gel se rompe y la textura es menos firme.(Walstra, et.al., 2001)

### 3.3 Ingredientes para elaboración de Yogurt:

- **Leche:** entera, parcialmente descremada ó descremada.
- **Sólidos lácteos:** Concentrado de leche descremada, leche en polvo sin grasa, lactosa, caseinatos.
- **Endulzantes.**
- **Estabilizantes.**
- **Saborizantes, fruta o jarabes de fruta.** (Fatih, 2010)

### 3.4 Proceso de obtención de Yogurt

- Las materias primas son sometidas a control de calidad.

- Estandarización de grasa en leche.
- Se ajusta el contenido de sólidos no grasos de la leche hasta un máximo de 16% para mejorar la fuerza del gel, la consistencia y la viscosidad (Tamime & Robinson, 2007). Se logra mediante el calentamiento, la adición de leche en polvo, suero concentrado, proteínas del suero o caseinatos.
- Homogeneización de la mezcla: Con este paso se obtiene un gel mucho más consistente, ya que los glóbulos grasos contienen fragmentos de las micelas de caseína en su capa superficial y participan en la estructura del gel después de la acidificación. Se produce un aumento en la fracción del volumen de la caseína (Walstra, et.al., 2001). Se previene la separación de la grasa y el suero, incrementa la blancura y realza la consistencia del yogurt. (Lee & Lucey, 2010)
- Se pasteuriza la mezcla por 30 minutos a 85° C por 30 min o a 95°C por 10 minutos para producir un ambiente estéril para los cultivos iniciadores; así también como desnaturalizar y coagular las proteínas del suero para que comiencen a depositarse sobre las miscelas de caseína (Prentince, 1992).
- Refrigeración.
- Inoculación
- Fermentación. (43°C de 4-6 h o hasta obtener un acidez titulable de 0.8 a 0.9 %). Disminución del pH hasta 4.6, conforme va avanzando el proceso de acidificación, el calcio coloidal se va filtrando dentro del suero y las miscelas tienden a desintegrarse en unidades pequeñas que se agregan como un coprecipitado (Prentince, 1992). En el caso del yogurt batido, la fermentación se realiza en tanques; para el yogurt firme la fermentación se realiza en el mismo envase.
- Enfriamiento a 6°C. Se realiza para controlar la actividad metabólica de los cultivos iniciadores y las enzimas. (Tamime & Robinson, 2007).
- Envasado

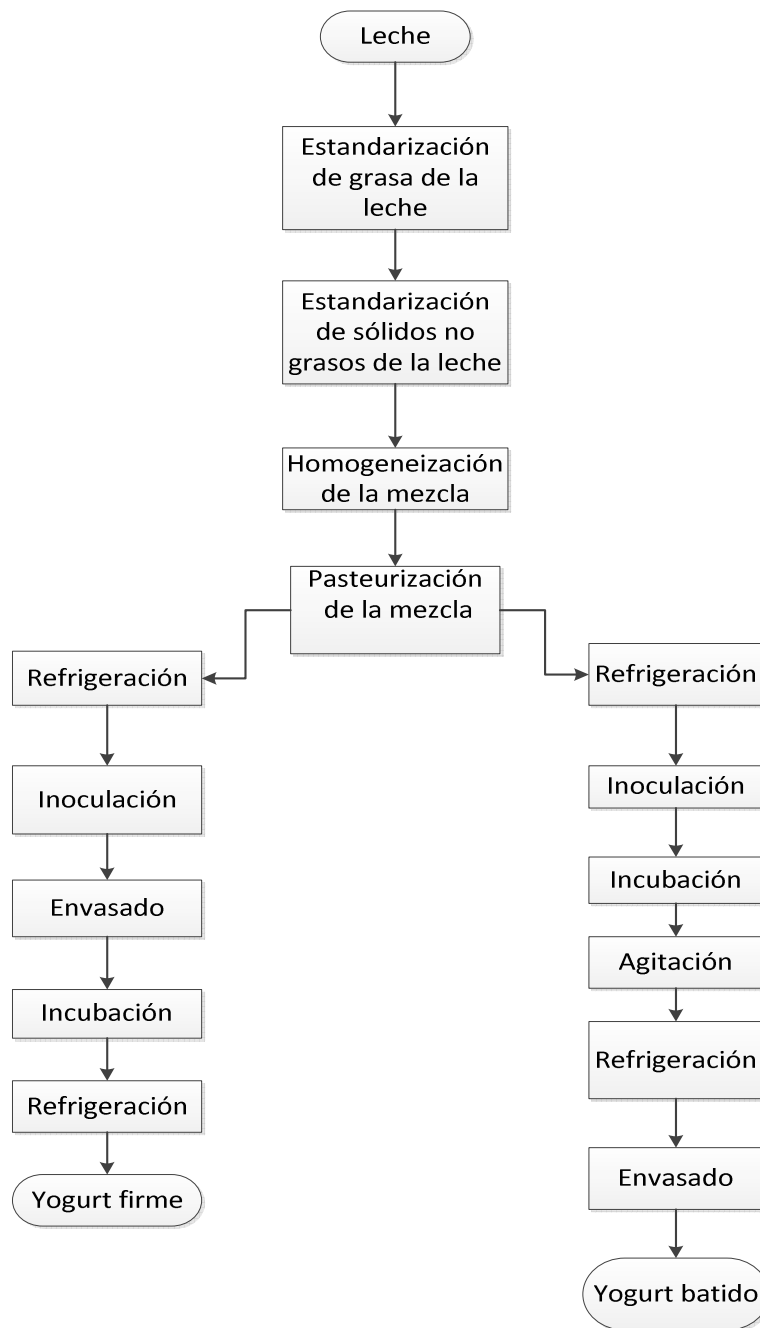


Fig. 3.1 Diagrama de elaboración de yogurt (Adaptado de Walstra y Fatith) (2001,2011)

### 3.5 Propiedades físicas del yogurt.

La estructura física del yogurt es de una red de partículas de caseína agregadas sobre la cual se ha depositado parte de las proteínas del suero que han sido desnaturalizadas por el calor. La red engloba los glóbulos grasos y el suero. Los poros más grandes de la red tienen un tamaño de 10 micrometros. La existencia de una red continua demuestra que el yogurt es un gel, un material visco-elástico que se caracteriza por una fluidez pequeña, Cuando el gel se rompe, se obtiene un líquido no-Newtoniano bastante viscoso, experimenta una fuerte fluidificación por cizalla y, por lo tanto, tiene una viscosidad aparente. (Walstra, et.al., 2001)

#### 3.5.1 Sinéresis del yogurt.

La sinéresis es un fenómeno que se da en el yogurt debido a una reorganización de la red, que da lugar a un aumento en el número de uniones entre las partículas. Como consecuencia, la red tiende a contraerse y a expulsar el líquido intersticial que encierra. La tendencia a la sinéresis es muy dependiente de la temperatura de incubación, del tratamiento térmico de la leche, del contenido de sólidos totales del yogurt y de la acidez. En el caso del yogurt batido, una intensa sinéresis indica un producto de mala calidad. Durante el batido, el gel se rompe en trozos en los que inmediatamente comienza la sinéresis. Se forma una mezcla heterogénea de coágulos y suero; al continuar el batido, los coágulos se rompen y se obtiene un producto más suave y uniforme, pero no suficientemente viscoso. Para evitar este problema, hay que incubar la leche a baja temperatura y evitar la agitación del producto una vez empacado. (Walstra, et.al., 2001) (Fatih, 2010)

### 3.6 NOM-181-SCFI-2010 -Yogurt

En México, la norma NOM-181-SCFI-2010 rige la elaboración, estandarización, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del producto denominado yogurt, así como los métodos para determinar los mismos. Debe contener un mínimo de proteína láctea de 2.9%, (de la cual, el contenido de caseína debe ser de 80% como mínimo) un máximo de grasa butírica de 15 % y un mínimo de 0.5% de acidez titulable expresada como ácido láctico. Asimismo, debe contener un mínimo de  $10^7$  UFC/g de los cultivos *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus*, y un mínimo de  $10^6$  de otros cultivos adicionales. El yogurt

saborizado o con fruta puede contener hasta un máximo de 50% (m/m) de sólidos no lácteos.

### 3.7 Aditivos empleados en el proceso de elaboración del yogurt.

Un aditivo alimentario es definido por el CODEX Alimentarius como “cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de producción, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características.” Esta definición no incluye "contaminantes" o sustancias añadidas al alimento para mantener o mejorar las cualidades nutricionales. En el yogurt son empleados distintos tipos de aditivos de acuerdo al fin tecnológico que se requiera, ya que se pueden usar para dar dulzor, reducción de grasa y calorías o evitar el rompimiento del gel. (CODEX STAN 192)

Los aditivos comúnmente empleados son: (Fatih, 2010) (Walstra, et.al., 2001)

- **Edulcorantes:** El alto nivel de acidez del yogurt natural no es del total agrado de muchos consumidores, por esta razón, es frecuente que se le añadan agentes edulcorantes. El más empleado es la sacarosa, sin embargo, otros utilizados son: jarabes de maíz, jarabes fructosados y edulcorantes no calóricos. (García Garibay, Sergio, & Gómez Ruíz, 2004)
- **Saborizantes:** En el caso de los yogures saborizados con fruta, es necesario estandarizar el sabor del producto mediante el uso de saborizantes.
- **Estabilizantes:** Son sustancias que son añadidas al yogurt para mejorar la viscosidad y textura, aparte de reducir la susceptibilidad del producto a presentar sinéresis debido a la ruptura del gel a la cual se somete el yogurt en su fabricación. Mejora la sensación en la boca y permite la reducción en calorías del producto mientras mantiene la calidad sensorial. Son sustancias de origen proteico o carbohidratos empleados como hidrocoloides. Sus

funciones principales son: 1) ligar agua mediante la formación de una red tridimensional y 2) incrementar la viscosidad. Un buen estabilizante para yogur no debe impartir ningún sabor, ser efectivo a bajo pH, debe ser fácilmente dispersable y funcionar a las temperaturas normales del proceso de yogurt. Los estabilizantes aumentan la vida de anaquel del producto y aumentan la uniformidad del producto de lote a lote (Ramesh C., 2006).

### 3.8 Uso de almidones modificados en yogurt.

Los almidones modificados son hidrocoloides altamente recurridos en la manufactura del yogurt; como se mencionó en el capítulo 1, los almidones pueden someterse a varias modificaciones para aumentar su funcionalidad.

Prasad y Sherkat (2012) encontró que el almidón entrecruzado mejora la retención de agua en el producto, aumenta la resistencia al calor y minimiza la sinéresis del yogurt; además, de que tiene un efecto ligeramente prebiótico en el crecimiento de las bacterias del yogurt, sin embargo, al ser comparado con el uso de galactooligosacáridos, el efecto resulta ser menor.

Lobato y Calleros (2014) estudió el efecto de la adición de almidones nativos y almidones modificados químicamente como sustitutos de grasa en yogurt batido. Emplearon 3 fuentes distintas de almidón modificado mediante entrecruzamiento (tapioca, maíz waxy y maíz nativo) y encontró variaciones en parámetros como la acidez y la sinéresis, ya que el yogurt formulado con almidón de maíz (natural y modificado) presentó mayor acidez a los 15 días posteriores de su elaboración, esto es debido a que los yogures preparados con polisacáridos presentan mayor viabilidad de las bacterias en el almacenamiento del producto (Soukoulis, Panagiotidis, Koureli, & Tzia, 2007). El yogurt control presentó mayor sinéresis que los preparados con almidón, siendo el de almidón de maíz nativo entrecruzado el que menor sinéresis presentó.

Morell, Hernando, Llorca y Fiszman (2015) prepararon yogures batidos con aumento de sólidos empleando distintas concentraciones de proteína proveniente de leche en polvo descremada, suero de leche y almidón, así como combinaciones de estos ingredientes. Esto con la finalidad de explorar su capacidad saciante y

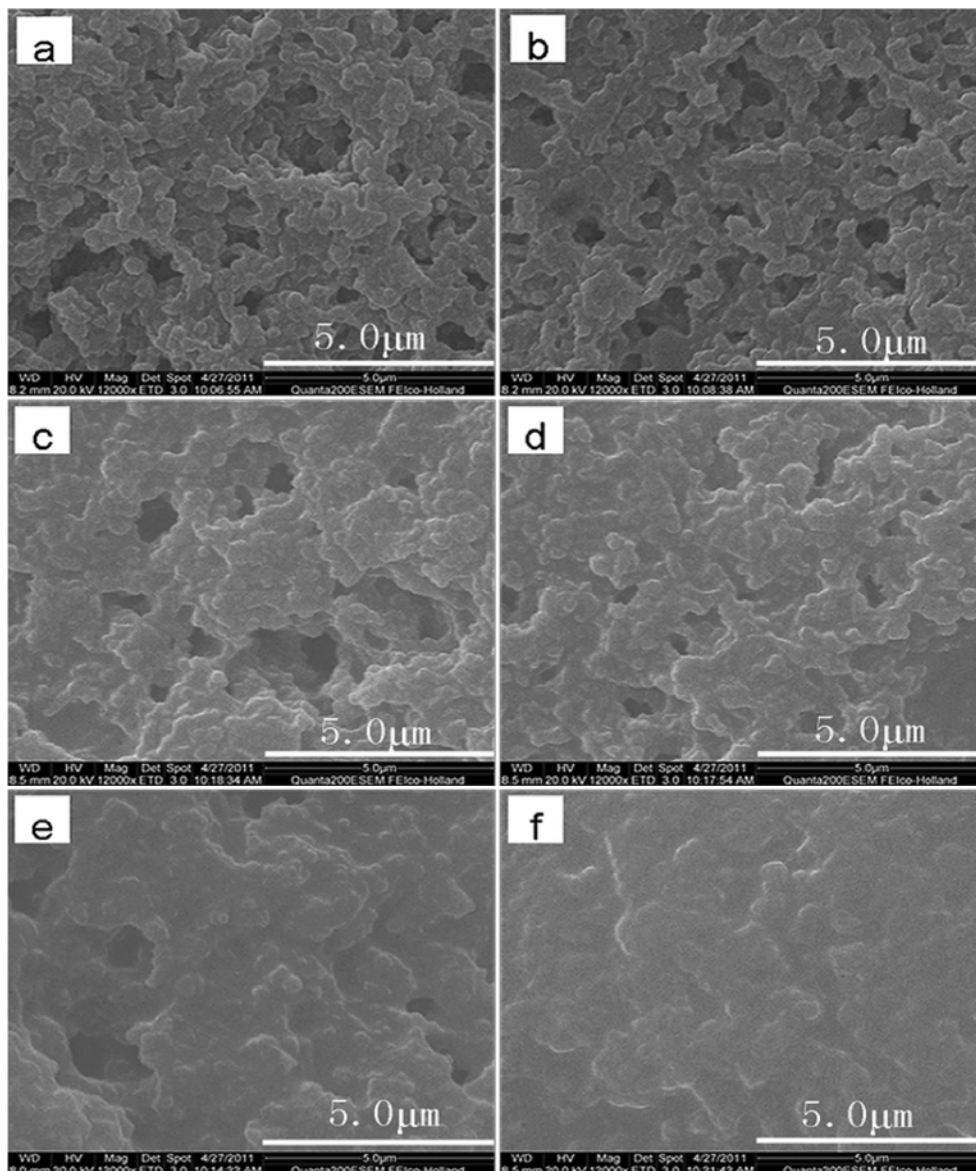
observar su microestructura. Encontraron que las muestras que contenían almidón mostraban que los gránulos se encontraban embebidos en la red de proteínas, asimismo, la red se sometió a una menor agregación que en las muestras sin almidón, lo que da como resultado una estructura más continua. En el caso de las muestras sin almidón y solo con adición de proteína observó que las proteínas formaban una red densa. Sin embargo, en las pruebas sensoriales, los panelistas preferían el sabor y la consistencia del yogurt adicionado solamente con almidón, además de que no percibían diferencia con el yogurt control. Esto indica que la adición de almidón mejora la percepción de consistencia del yogurt sin afectar su sabor. Las muestras adicionadas con proteína obtuvieron las peores calificaciones, ya que los consumidores percibían una textura heterogénea. Esto va de la mano con las microestructuras, ya que, a pesar de haber agregado almidón a las muestras adicionadas con proteína, éstas forman estructuras mucho más densas y apretadas que el yogurt normal, lo que provoca que la adición de almidón no sea suficiente para hacer una diferencia.

Radi, Niakousari y Arimi (2009) analizó el efecto del uso de almidón de trigo entrecruzado tratado con ácido y almidón de trigo solamente tratado con ácido para reducir total y parcialmente la grasa en yogurt. Encontraron que los valores energéticos del producto disminuían proporcionalmente que la cantidad de grasa; asimismo, la sinéresis decrecía significativamente cuando la concentración del almidón en el yogurt era de 3.2%, ya que, después de 15 días de almacenamiento, la sinéresis era notablemente presente en los yogures sin almidón y con 1.6% de almidón entrecruzado; sin embargo, al incrementar la dosis de almidón se impedía la formación de la red de proteínas, lo cual influía negativamente en la percepción de la textura. En la evaluación sensorial de estos productos, el panel entrenado encontró diferencias entre los yogures preparados, siendo mejor calificados en el rango de sabor el yogurt graso y el yogurt con 1.6% de almidón entrecruzado; el yogurt preparado con almidón solamente tratado con ácido no fue aceptado sensorialmente.

Cui, et.al. (2014) estudió el efecto del almidón entrecruzado y acetilado en yogurt. Encontró que el almidón entrecruzado y acetilado en yogurt mejora las propiedades de viscosidad y la capacidad de retención de agua, además de que aumenta la fuerza de la red de proteínas formada en el yogurt, influyendo de sobremanera en la estabilidad del yogurt. Esto es debido a las estructuras formadas entre el almidón y las caseínas, ya que sin la adición del almidón modificado, las proteínas forman una red inestable, irregular y discontinua, con la subsecuente alteración del sistema y baja viscosidad. En este estudio se demostró que mientras se incrementaba la cantidad de almidón agregado al yogurt, se forma una red más compacta y continua contribuyendo a la estabilidad del yogurt (Figura 3.2). Sin embargo, si se excede del 2.0% de almidón en el yogurt, se logra una sensación áspera, por lo tanto, la concentración ideal de almidón es de 0.5-1.5% m/m.

Pang, Deeth, Prakash y Bansal (2015) evaluaron combinaciones de polisacáridos gelificantes, carragenina y almidón dihidroxipropilado de tapioca y su influencia en la estabilidad de yogurt batido, encontrando que la mezcla de proteína del suero de la leche y almidón inducían geles más fuertes y con mayor capacidad de retención de agua, sin embargo, el uso del almidón por arriba del 1% debilitaba el gel y la red de proteínas, debido a que existía una competición por el agua entre las partículas del almidón y las proteínas del yogurt, lo cual no ocurre en niveles alrededor del 0.2%.

Debido al aumento de las enfermedades cardiovasculares asociadas al alto consumo de grasas, el mercado ha demandado productos bajos en calorías, entre ellos el yogurt. Sin embargo, la disminución de sólidos grasos en yogurt ha sido asociado con texturas pobres, por lo cual, Sandoval, Lobato y Aguirre (2004) intentaron reemplazar con sólidos no grasos de la leche, pero, el uso de sólidos no grasos contribuye a una acidez mayor en el producto debido a la excesiva fermentación y, a la vez, se requiere una cantidad similar a la grasa retirada.



*Fig. 3.2 Microscopía de barrido electrónico de las muestras de yogurt con a) 0%, b) 0.5 m/m, c) 1% m/m, d) 1.5% m/m, e) 2% m/m, f) 2.5% m/m de almidón acetilado entrecruzado ( (Cui, Lu, Tan, Wang, & Li, 2014)*

Es por ello que se ha investigado el uso de almidones modificados para reducción de grasa, ya que pueden ser empleados en bajas cantidades, lo cual, implicaría un descenso calórico importante en el producto.

Amaya, Martínez, Zazueta y Martínez (2007) ahondaron en el uso de almidones originarios de jícama y maíz para reducir grasa en yogurt batido. Dichos almidones

fueron empleados tanto nativos como sometidos a diferentes condiciones de hidrolización. El estudio demostró que las condiciones de hidrolización de los almidones afectaban el índice de sinéresis, sin embargo, el pH y la viscosidad de los yogures no fueron modificados por la adición de estos almidones. La incorporación de almidones de jícama con tratamientos con el mínimo tiempo de hidrólisis (0 horas para almidón nativo y 3 horas) en yogurt obtuvieron las más altas calificaciones en la evaluación sensorial, ya que los jueces no detectaron texturas arenosas, además de que la adición de almidón de jícama como sustituto de grasa en dosis de 2.03 g por cada 100 gramos fue funcional y conservó las características sensoriales deseadas, además de mostrar una disminución en el contenido calórico.

Sandoval et.al. (2004) estudió la influencia de sustitutos de grasa (entre ellos, almidón modificado de tapioca y mezclas de almidón modificado con suero de proteína concentrado y con micropartículas con proteína de suero) en la microestructura del yogurt, recordando que ésta consiste en una red de proteínas. En el caso del yogurt preparado con almidón modificado de tapioca, se presentó una estructura abierta con las miscelas de caseína ligadas en cadenas, con un gran número de huecos interespaciales de varias dimensiones y glóbulos de grasa. Al calentar los gránulos de almidón, se presenta el fenómeno de gelatinización y algunas moléculas solubilizadas pueden integrarse en la red de las miscelas de caseína, lo cual explica la estructura abierta.

En el caso de las mezclas, se observó que el almidón impedía el desarrollo de la red de proteína impidiendo las interacciones proteína-proteína, con lo cual, se observaron largos espacios donde se retenía el suero, y a su vez, estos espacios estaban rodeados por cadenas de miscelas de caseína. (Sandoval, et.al-. 2004)

Con respecto a la textura, los yogures preparados solamente con almidón presentaron mayor firmeza que el yogurt control, debido a que las moléculas de carbohidratos incrementaban la viscosidad. Sin embargo, los yogures preparados con mezclas de almidón y proteína fueron menos firmes y adhesivos que el yogurt control. (Sandoval, et.al., 2004)

### 3.9 Yogurt griego

El yogurt es un alimento con un alto contenido de proteínas, las cuales se consideran como los macronutrientes más saciantes; por ello, el consumo de yogurt con un contenido elevado de proteína ha sido considerado como efectivo para una dieta de pérdida de peso. En la manufactura del yogurt el incremento de sólidos es común y regularmente se emplean concentrados de proteínas para aumentar el contenido de ésta. En los últimos años se ha visto el crecimiento de un subestilo de yogurt que, debido a su manufactura, contiene un mayor contenido de proteína. El yogurt griego es un subestilo de yogurt que se caracteriza por un mayor contenido de sólidos que el yogurt común y es percibido como menos ácido. La información nutrimental de estos productos declara tener el doble de proteínas que el yogurt normal.

El proceso de elaboración de este yogurt es exactamente el mismo que para el yogurt batido sin la inclusión de estabilizante en la formulación. Cuando se obtiene el yogurt, éste es transferido a bolsas y se aplica presión para lograr un drenado del suero a bajas temperaturas. El tiempo requerido para drenar el yogurt es de acuerdo al contenido de sólidos que se quiere obtener, sin embargo, normalmente es de 24—48 horas. De manera casera, el yogurt drenado es vaciado de las bolsas y calentado a 45°C (Ramesh C., 2006). En la industria láctea se emplean tecnologías como centrifugación y ultrafiltración. La textura del yogurt griego se puede mejorar mediante la adición de sólidos secos de la leche o hidrocoloides, cuando esto sucede, se habla de un yogurt griego fortificado. (Desai, Shepard, & Drake, 2013)

En México, el mercado del yogurt tiene un valor de 2,033.4 millones de dólares y tendrá un crecimiento de 41.7% en el año 2018, lo cual, impulso la categoría del yogurt griego debido a la demanda de los consumidores que buscan productos saludables. Existen cuatro marcas principales en la división de yogurt griego, las cuales son: Oikos, (Danone), Griego (Nestlé), Griego (Yoplait) y Fage (Fage). (Tejeda, 2013)

Las marcas presentes en el mercado mexicano difieren en su contenido de proteína y en sus precios al público, siendo el yogurt Fage el de mayor precio, sin embargo,

Fage no declara en sus ingredientes el uso de algún hidrocoloide, por lo cual, se justifica su precio debido a su alto contenido de proteína. Oikos, de Danone, con precio de 8.52 pesos por 150 g, es el yogur con menor contenido de proteína en comparación, sobre todo, comparado con Grekos Lala, ya que se encuentran en el mismo rango de precio pero, Grekos Lala tiene un mayor contenido de proteína; sin embargo, comparados con sus versiones naturales, ambos yogures no rebasan el doble contenido de proteína, además de que emplean almidón modificado para asegurar la consistencia del yogurt.

*Tabla 3.1 Contenido de Proteína de yogurt griego vs yogurt natural.*

<b>Marca de Yogurt</b>	<b>Precio por 150 g (\$)</b>	<b>Contenido de proteína</b>	<b>¿Contiene almidón modificado?</b>	<b>Comparación de proteína vs versión yogurt natural</b>
<b>Fage</b>	29.50	12.5 g	No	-----
<b>Oikos Danone</b>	8.52	7.2 g	Si	1.8 veces más proteína
<b>Grekos Lala</b>	8.40	10.1 g	Si	1.67 veces más proteína
<b>Griego Yoplait</b>	7.91	10.5 g	No	2.3 veces más proteína

### 3.10 Análisis de la aplicación de almidones modificados en la elaboración del yogurt

El uso de almidones modificados en yogurt se enfoca a lograr una mayor retención de agua para evitar el efecto indeseable de la sinéresis, ya que esta es percibida como un defecto grave en la calidad del yogurt por parte de los consumidores; asimismo, el uso de un almidón modificado realza la textura del yogurt. Se ha ahondado en el uso de almidones entrecruzados en yogurt debido a las características que adquiere este tipo de almidones, entre las más importantes: mayor viscosidad y estabilidad a pH's ácidos; en el caso de la investigación de Cui, empleo almidones entrecruzados estabilizados mediante acetilación, lo cual reforzó la red de proteínas de yogurt y evito la sinéresis de este, sin embargo, no solo la modificación del almidón influye en las características sensoriales del yogurt, sino

también la concentración del almidón empleado, ya que a concentraciones mayores de 2.0% la textura se percibe como arenosa. Esto significa grandes beneficios para la industria láctea, ya que implica obtener características sensoriales deseables con un bajo uso de almidón modificado.

Otro de los factores que afectan de sobremanera es el origen del almidón; en la mayoría de las investigaciones fue recurrente el uso de almidón proveniente de maíz y tapioca, esto es debido a que el almidón proveniente de maíz da pastas opacas con mayor viscosidad y el almidón de tapioca da pastas estables y claras a temperaturas bajas.

Para el caso del yogurt bajo en grasa, el almidón ha sido empleado como espesante y para dar un aumento de viscosidad, lo cual aumenta la sensación de cremosidad en el producto. Se ha investigado el uso de almidones modificados de manera ácida, sin embargo, su funcionalidad es dependiente del tiempo y las condiciones de hidrólisis.

Como opción para investigación en yogures bajos en grasa, se propone el uso de almidón alquenilsuccinato en baja proporción, ya que posee una cadena alifática que proporciona un perfil graso. Asimismo, para mejorar la viscosidad del yogurt, se propone el uso de éteres de almidón, ya que éstos dan pastas altamente viscosas y son empleados en postres refrigerados.

## Capítulo 4. Uso de almidones modificados en Queso

---

### 4.1 Queso

De acuerdo a la *Norma Oficial Mexicana NOM-121-SSA1-1994, Bienes y servicios. Quesos: Frescos, Madurados y Procesados. Especificaciones Sanitarias* se entiende por queso al producto elaborado con la cuajada de leche estandarizada y pasteurizada de vaca o de otras especies animales, con o sin adición de crema, obtenida por la coagulación de la caseína con cuajo, gérmenes lácticos, enzimas apropiadas, ácidos orgánicos comestibles y con o sin tratamiento ulterior por calentamiento, drenada, prensada o no, con o sin adición de fermentos de maduración, mohos especiales, sales fundentes e ingredientes comestibles opcionales.

### 4.2 Clasificación de los quesos

La gran cantidad de variedades de queso complica de sobremanera la clasificación de los queso. En la siguiente tabla, se muestra una clasificación muy general basada en los contenidos de humedad y grasa y, aunque de aplicación limitada, las categorías son ampliamente aceptadas. (Scott, Robinson, & Wilbey, 2002)

*Tabla 4.1 Clasificación de Quesos (Scott, et.al., 2002)*

<b>Tipo de Queso</b>	<b>Humedad en sustancia libre de grasa (%)</b>	<b>Grasa de la materia seca (%)</b>
<b>Extraduro</b>	Menor a 51	Menor a 60
<b>Duro</b>	49-55	40-60
<b>Semiduro</b>	53-53	25-50
<b>Semiblando</b>	61-68	10-50
<b>Blando</b>	Mayor a 61	10-50

Sin embargo, dicha clasificación no define si el queso esta madurado o no, ni define el tamaño, forma y aspecto interno, ni diferencia entre las variedades maduras por bacterias superficiales o por mohos superficiales o aquellas otras maduras por el crecimiento interno de mohos. (Scott, 2002)

También pueden ser clasificados por el tipo de coagulación en la caseína: siendo estos de coagulación enzimática, quesos de coagulación ácida y quesos de coagulación ácida/térmica y de acuerdo a su estado de maduración, frescos (6 días), semi-madurados (40 días) y madurados (más de 70 días) (Ramírez López & Vélez Ruíz, 2012)

#### 4.2.1 Quesos análogos

Los quesos análogos son productos que son similares al queso, pero en los cuales, la grasa láctea ha sido parcial o completamente reemplazada por otras grasas. Los quesos análogos pueden ser clasificados como producto lácteo, parcialmente lácteo o no lácteo, dependiendo si la fuente de la grasa/proteína es láctea o vegetal. La mayor aplicación es para su uso en pizzas congeladas, así como en ensaladas, sándwiches, salsas de queso, “dips” de queso y mezclas de queso. (Tamime, 2011)

La manufactura de quesos análogos involucra la mezcla de ingredientes y el calentamiento posterior de éstos para producir una emulsión de aceite en agua. Hay 4 ingredientes clave que son necesarios para la producción de queso análogo: agua, sales emulsificantes, proteína y grasa. (Tamime, 2011)

Las mayores fuentes de proteínas son: caseínas coaguladas, caseinatos, proteínas del suero de la leche o proteínas vegetales; mientras que las fuentes de lípidos son: grasa de la leche o grasa vegetal (aceite de soya, palma, algodón). Es más usual emplear grasas vegetales debido a su bajo costo en comparación a la grasa láctea. (Guinee, 2011)

#### 4.2.2 Quesos bajos en grasa

La grasa contribuye de manera importante en las propiedades físicas y sensoriales de los quesos, interviniendo desde su consistencia, hasta en la percepción del sabor. Sin embargo, debido a las tendencias mundiales de la disminución en el consumo de grasa, este alimento ha sufrido modificaciones en su contenido de grasa, buscando obtener las mismas propiedades sensoriales que el queso tradicional. La Comisión Internacional del Codex Alimentarius ha determinado un límite máximo de 50% en reducción de grasa.

Con el fin de lograr el nivel de grasa deseado en quesos bajos en grasa, la proporción de caseína y grasa de la leche se debe aumentar. Esto se logra mediante la remoción de crema (grasa) o de incremento de caseína por adición de sólidos no grasos de la leche. (Johnson , 2011)

Existen varias maneras en las cuales se pueden emular las características sensoriales y fisicoquímicas de un queso tradicional en un queso bajo en grasa, entre las cuáles se encuentran: aumento de la humedad, manipulación del pH, homogeneización, adición de surfactantes o sales fundentes o la adición de sustitutos de grasa, los cuales no reaccionan con la caseína sino que “rellenan” el espacio que ocuparía la grasa en un queso tradicional. (Johnson , 2011)

#### 4.3 Proceso de obtención de quesos frescos

- **Estandarización:** La leche es sometida a estandarización, debido a las siguientes razones: 1) Compensación de la variación estacional en la calidad composicional. 2) Estandarización de la grasa. La leche puede ser estandarizada mediante la adición de sólidos de la leche o remoción de la grasa.
- **Tratamiento térmico de la leche:** Se realiza con el fin de estandarizar la calidad biológica de la leche, destruyendo las bacterias nocivas o algunas enzimas. El tratamiento térmico mínimo para alcanzar este objetivo es de 71.7 °C durante 15 s.
- **Adición de cultivos iniciadores:** Después del tratamiento térmico, la leche se enfría a una temperatura de 30°C y posteriormente se agregan los cultivos iniciadores, los cuales son bacterias productoras de ácido para lograr la reducción del pH. Este pH bajo origina que se incremente la actividad enzimática del agente coagulante, incrementa la tasa de sinéresis, inhibe el crecimiento de bacterias patógenas y causa la disolución del fosfato de calcio coloidal.
- **Adición de cuajo y coagulación:** La actividad enzimática del cuajo provoca la desestabilización de las miscelas de caseína, que se aglomeran y forman un gel más o menos sólido, en el que quedan atrapados el resto de los

componentes de la leche. La coagulación de la leche ocurre en dos fases. La primera fase: consiste en la ruptura enzimática de la cadena de aminoácidos de la κ-caseína en el enlace entre el aminoácido 105, fenilalanina y el 106, metionina. Esta escisión produce *para*-κ-caseína insoluble y un macro péptido soluble que difunde alejándose de la micela y que posteriormente se pierde con el suero. La segunda fase, precipitación o floculación, depende más de la temperatura y sólo ocurre en caliente y en presencia de iones calcio disponibles. Debido a la pérdida de la función estabilizadora de la κ-caseína y en presencia de iones calcio y temperatura adecuada, las micelas de caseína se combinan formando un coágulo que engloba a los restantes componentes de la leche.

- **Cortado del coágulo:** El cortado del coágulo se realiza en un periodo de 25 min a 2 h o cuando la cuajada tenga la consistencia adecuada. Los movimientos de los elementos o cuchillas de corte serán lentos y la superficie cortante lo más fina y afilada posible. Cuanto más fino sea el cortado, mayor será la superficie y mayor la pérdida potencial de grasa, por lo que la cuajada raramente se corta en cubos menores a 6 mm. El suero de la cuajada arrastra los componentes hidrosolubles incluyendo lactosa, proteínas del suero, sales, péptidos y otras sustancias nitrogenadas no proteicas.
- **Escaldado:** La cuajada, cortada por primera vez, es blanda y la cutícula que envuelve a los granos es abierta. La agitación suave de la cuajada, hasta que salga el primer flujo de suero de las partículas de cuajada, es necesaria para evitar presiones adicionales y la pérdida de grasa y de finos o polvo de cuajada. Una vez que la cutícula de los granos o partículas, puede aumentarse ya la velocidad de agitación. El escaldado promueve la contracción de la matriz proteica, haciendo que la cuajada se retraiga y expulse más suero. Aumenta la producción de ácido láctico, descende el pH y la acidez contribuye a que las partículas se retraigan más y expulsen más suero.
- **Remoción del suero:** La manera en la cual el suero es removido juega un papel importante en la textura del queso, así como en el color y el sabor. En

la producción del queso suave, el suero es removido desde las perforaciones de los moldes de queso. En la producción de queso duro y semiduro, el suero es removido desde la tina.

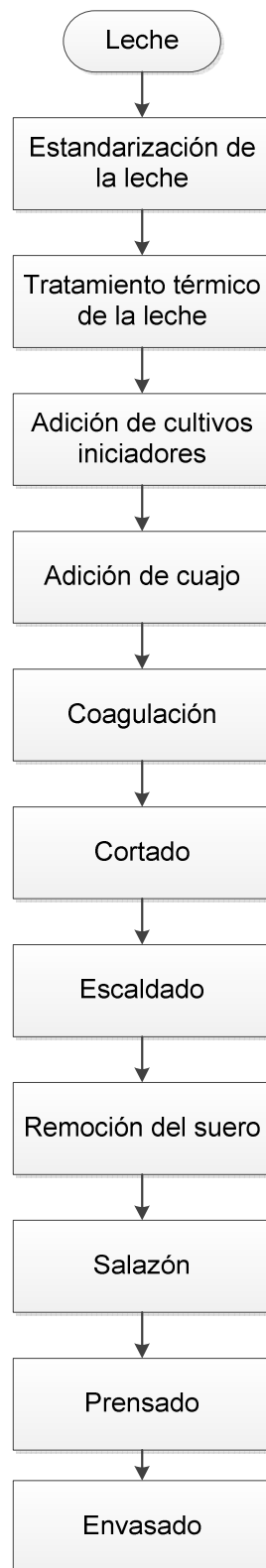
- **Salazón:** La sal es comúnmente añadida al queso mediante inmersión en una salmuera o frotamiento de la superficie del queso durante la maduración. Para quesos suaves se prefiere la inmersión y para quesos duros o semiduros se emplea la frotación.
- **Prensado:** El principal objetivo de prensar el queso, es forzar a las partículas sueltas de cuajada a adoptar una forma suficientemente compacta para manipularla y expulsar el suero libre. (Scott, 2002)
- **Envasado**

#### 4.4 NOM-243-SSA-201 Normatividad para Queso

La NOM-243-SSA-201 establece los parámetros microbiológicos a los que deben de sujetarse los quesos, así como sus métodos de prueba y especificaciones nutrimentales.

#### 4.2 Límites microbiológicos para queso. (Norma Oficial Mexicana NOM-121-SSA-1994, BIENES Y SERVICIOS. QUESOS: FRESCOS, MADURADOS Y PROCESADOS. ESPECIFICACIONES SANITARIAS)

Microorganismo	Límites totales
<b>Organismos Coliformes Totales</b>	≤ 100 UFC/ g o mL
<b>Staphylococcus aureus</b>	≤ 100 UFC/ g o mL quesos madurados y procesados 1000 UFC/ g quesos frescos
<b>Salmonella spp</b>	Ausente en 25 g o mL
<b>Escherichia coli</b>	100 UFC/g quesos frescos ≤ 10 NMP/ g o mL quesos madurados y procesados
<b>Listeria monocytogenes</b>	Ausente en 25 g o mL
<b>Vibrio cholerae</b>	Ausente en 25 g quesos frescos
<b>Enterotoxina estafilococcica</b>	Negativa
<b>Toxina botulínica</b>	Negativa
<b>Mohos y levaduras</b>	500 UFC/g o ml quesos frescos, madurados y de suero 100C/g o mL quesos procesados



*Fig. 4.1 Diagrama de elaboración de Queso*

#### 4.5 Aditivos empleados en la elaboración de quesos

Existen diversos aditivos que se añaden a la leche de quesería y a las cuajadas de queso, los cuales se mencionan a continuación:

- Sales para restaurar el equilibrio o balance del calcio en la leche: El éxito de la coagulación depende del balance de calcio soluble, coloidal y el que forma complejos. El modo más común de añadir calcio a la leche, es en solución de  $\text{CaCl}_2$  estandarizado.
- Sales inhibidoras: En la producción de quesos menos ácidos, ha sido práctica tradicional añadir a la leche sales inhibidoras para evitar el crecimiento de los microorganismos productores de gas. Se emplea nitrato sódico como agente oxidante.
- Colorantes: El color en la leche es debido a la riboflavina y al carotero. La riboflavina no presenta cambios por las variaciones estacionales, sin embargo, los carotenoides se presentan en niveles más altos en verano. Debido a esto, los fabricantes añaden los colorantes annato o  $\beta$ -caroteno.
- Sales emulsificantes: En el caso de los quesos análogos, las sales emulsificantes promueven, con la ayuda del calor, una serie de cambios fisicoquímicos en el queso, los cuales resultan en la rehidratación de la caseína coagulada, convirtiéndola en un emulsificante activo. (Eck.,1986) (Scott., 2002)

#### 4.6 Uso de almidones modificados en quesos frescos

Los almidones modificados son empleados principalmente en la manufactura de quesos procesados y/o bajos en grasa; ya que funcionan como sustituto de caseína o sustitutos de grasa.

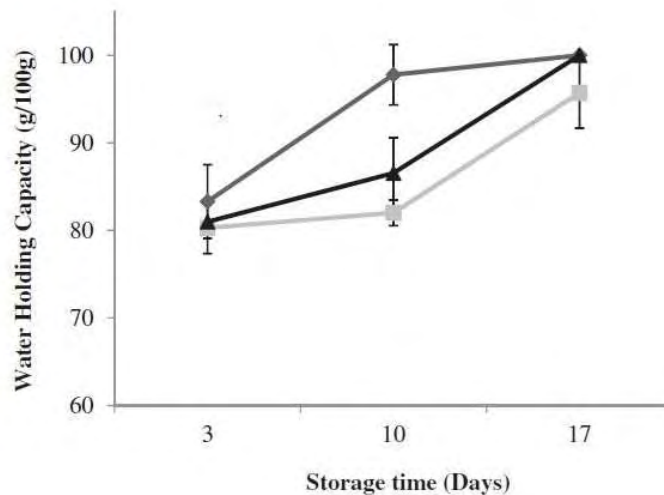
##### 4.6.1 Almidones modificados en quesos bajos en grasa

La reducción de grasa en queso ha obedecido a una tendencia mundial de disminuir el consumo de grasas saturadas en la dieta humana. Sin embargo, la reducción de grasa en queso implica que éstos presenten pérdida de aroma y sabores atípicos debido a compuestos aromáticos que son producidos por la baja actividad lipolítica; además de que el alto contenido de humedad causa un excesivo crecimiento de los cultivos iniciadores, lo cual acelera la producción de ácido, resultando en sabores

amargos. Es por ello que se emplean reemplazos de grasa para mejorar las propiedades sensoriales de los quesos bajos en grasa (Johnson , 2011).

Existen dos tipos de reemplazos de grasa empleados en alimentos: 1) Sustitutos de grasa que son macromoléculas que son física y químicamente parecidas a los triglicéridos y pueden reemplazar a la grasa en una proporción 1:1. Y 2) Miméticos de grasa, los cuales son sustancias que imitan las propiedades organolépticas o físicas de los triglicéridos pero no pueden reemplazarlos en proporción 1:1. Los almidones, junto con las proteínas, recaen en esta categoría. (Akoh, 1998)

El queso Minas es un queso fresco que goza de alta popularidad en Brasil. Es un queso blanco, suave, fresco, que es preparado con una gran cantidad de sal y tiene un sabor medianamente ácido. Ribeiro, Arantes y Nakata (2014) estudiaron el efecto del almidón waxy octenil succinilado en queso bajo en grasa, comparándolo con un queso control y un queso reducido en grasa sin almidón. En general, la reducción de grasa tanto sin almidón como con almidón afectó la composición general del queso; estos quesos mostraron un mayor contenido de proteína que el queso control, lo cual implica el problema del entrecruzamiento de proteínas, resultando en un queso con texturas duras y “chiclosas”. Se observó un aumento de la humedad en el queso bajo en grasa con almidón, sin embargo, el rendimiento del queso control fue mayor que los bajos en grasa; a pesar de que la grasa que fue removida debería ser parcialmente reemplazada por el agua, los rendimientos de los quesos bajos en grasa son bajos debido a que la cantidad total de grasa removida no es igual a la cantidad de agua agregada. Tampoco se observó diferencia entre los rendimientos del queso bajos en grasa sin almidón y con almidón. Sin embargo, la adición de almidón al queso mejoró la capacidad de retención de agua de éste, lo cual significa una menor sinéresis en almacenamiento.

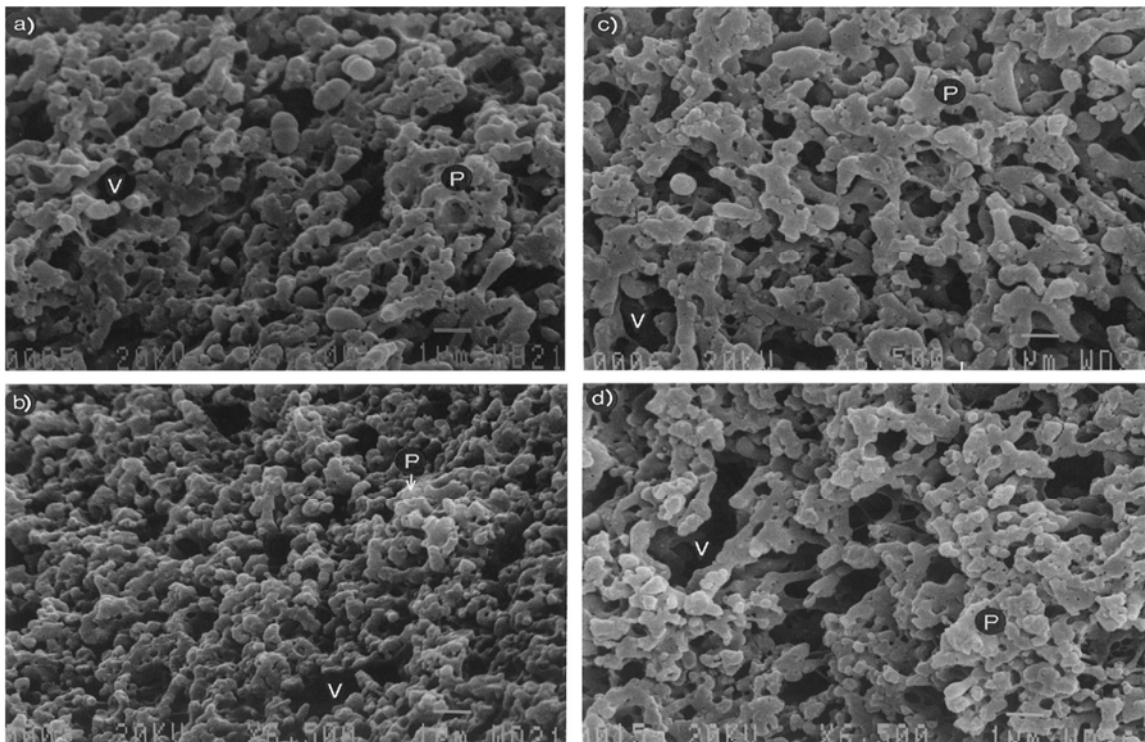


*Fig. 4.2. Capacidad de retención de agua de diferentes tratamientos aplicados en queso. El queso con almidón se encuentra con una media de 85 g agua/100 g de producto. (Ribeiro, 2014)*

Sipahioglu, Álvarez y Solano (1999) trabajaron la aplicación de almidón de tapioca y mezclas de éste con lecitina como sustituto de grasa en queso feta. El queso feta es un queso suave con un contenido normal de 20-25% de grasa, madurado en salmuera y con un característico sabor ácido.

El rendimiento del queso feta tratado solo con almidón de tapioca aumento debido al incremento de la capacidad de retención de agua; sin embargo, el contenido de proteína fue menor que el control debido a la dilución provocada por el aumento de la cantidad de agua. En el caso de las combinaciones tapioca-almidón, el contenido de proteína aumento en comparación con el control. La dureza disminuyo para los quesos tratados con tapioca debido a que el almidón imparte suavidad gracias a su capacidad de retener humedad. (Sipahioglu, et.al., 1999)

El estudio de la microestructura para los quesos con la combinación de tapioca-lecitina mostró grandes agregados de proteína, estos resultados se asocian con el efecto combinado del agua “atrapada” en el gel de almidón de tapioca y la capacidad de retención de agua de la lecitina. (Sipahioglu, et.al., 1999)



*Fig.4.3 Micrografía de escaneo electrónico de a) Queso feta reducido en grasa, b) Queso reducido en grasa con almidón modificado de tapioca y lecitina, c) Queso feta bajo en grasa, d) Queso feta bajo en grasa con almidón modificado de tapioca y lecitina. (Sipahioglu, et.al., 1999)*

#### 4.6.2 Almidones modificados en quesos análogos

El uso de almidones modificados en queso análogos ha cumplido una serie de funciones, desde agentes para aumentar la humedad hasta sustitutos parciales de caseína.

Duggan, Noronha, O’Riordan y Sullivan (2008) investigaron el efecto en la humedad y la actividad de agua en quesos procesados tratados con almidón resistente. Se emplearon concentraciones de 8.9% a 18.2% de almidón resistente reduciendo el contenido de grasa de 10% a 0% respectivamente. No hubo cambios en la dureza del queso excepto en las concentraciones más altas de almidón y no se observaron cambios en el comportamiento de absorción de agua ni en la actividad de agua, debido a que el almidón empleado tiene una baja capacidad de retención de agua; llegando a la conclusión de que se pueden emplear grandes cantidades de almidón resistente para reducir grasa.

Como se ha mencionado anteriormente, la aplicación de los quesos análogos es extensa. Arimi, Duggan, O'Riordan, Sullivan y Lyng (2008) prepararon un queso análogo que expandiera a un producto crujiente reducido en grasa preparado con almidón resistente (poca digestibilidad) que, al ser cocinado en horno de microondas, fuera capaz de presentar expansión en calentamiento. Para esto, emplearon distintas relaciones de almidón-grasa en la manufactura de los quesos análogos, a los cuales se les midieron distintas propiedades como composición, constante dieléctrica, capacidad calorífica, conductividad térmica, perfil de temperatura durante calentamiento, expansión del producto en microondas, pérdida y estructura de producto expandido y textura.

Conforme aumenta la cantidad de almidón (carbohidrato) disminuye la cantidad de grasa presente en los quesos. Parámetros como la humedad, cantidad de proteína y pérdida de peso fueron similares para todos los tratamientos; asimismo las constantes dieléctricas, capacidad calorífica y conductividad térmica, que en su mayor parte, al ser un queso con un alrededor de 60% de humedad, el agua predominó sobre las constantes antes citadas.

En el perfil de temperatura se observaron 4 regiones. Durante los primeros 5 segundos no se observa ningún cambio, en los próximos 10 segundos se observa un incremento a 100 °C debido a la cantidad de agua presente en los quesos analizados. Después de 30 segundos, la mayor parte de agua ha sido evaporada, por lo cual, la materia seca es la que dicta el comportamiento durante el calentamiento. De acuerdo a este perfil de temperatura, los quesos con alto contenido de grasa se calientan más rápidamente debido al efecto combinado de la baja capacidad calorífica y la poca cantidad de agua presente.

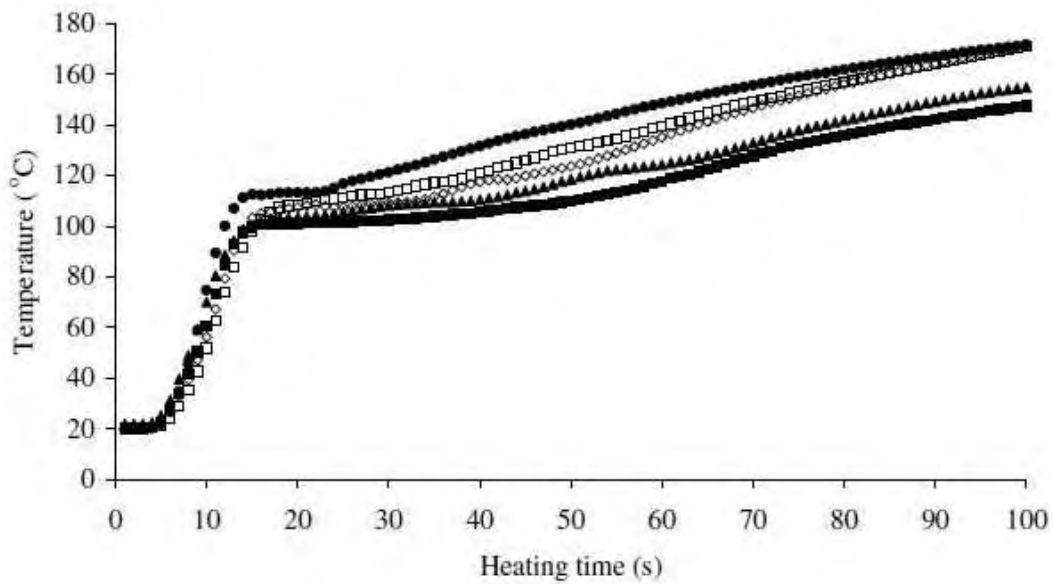
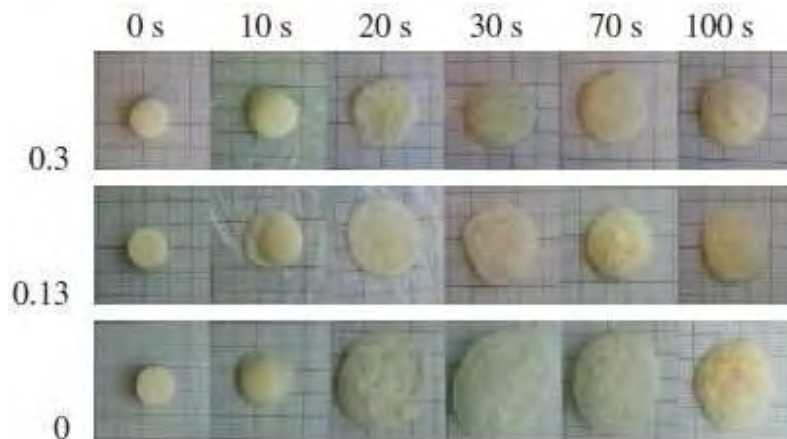


Figura 4.4 Perfil de temperatura de quesos análogos con relaciones de almidón de 0 (■), 1.3 (▲), 0.3 (◇), 0.53 (□), y 1.36 (●).

La formulación y el tiempo de calentamiento son los dos factores que afectan el grado de expansión del producto. A 10 segundos de calentamiento no se observan cambios importantes en la estructura de los quesos sometidos a calentamiento. Dichos cambios comienzan a observarse a partir de 20 segundos de calentamiento, cuando comienza a incrementar el diámetro de los quesos pero no su volumen, el cual comienza a cambiar en el lapso de 20 a 30 segundos de calentamiento. No se observa expansión después de 30 segundos de calentamiento, esto es debido a que la pérdida de humedad (la cual permite la expansión) ocurre en los primeros 20 segundos de calentamiento. Los quesos añadidos con almidón presentan una mayor expansión que el queso control, sin embargo, el queso que presenta la mayor expansión es aquel que no contiene grasa en su formulación.

Arimi concluyó que se podía manufacturar un queso análogo con propiedades de expansión y digestibilidad (por el contenido de almidón resistente).



*Figura 4.5 Muestras de queso con distintas relaciones de grasa/almidón y con distintos tiempos de calentamiento. (Arimi, et.al., 2008).*

Se ha revisado la microestructura de los quesos análogos empleando almidones modificados en su formulación mediante distintas técnicas de microscopía. Noronha, Duggan, Ziegler, Stapleton y O’Riordan (2008) emplearon 4 tipos de almidón: nativo, pregelatinizado, resistente y proveniente de maíz waxy. Se concluyó que el tipo de almidón tenía gran influencia en la estructura del queso análogo y esto dependía de las características propias de cada almidón, por ejemplo, temperatura de gelatinización y estructura. Para el caso del almidón pregelatinizado, las micrografías mostraron que el almidón se encuentra en el queso como una masa altamente coalecida, esto es debido a que el almidón gelatinizado, al tener la capacidad de absorber agua a bajas temperaturas, absorbió el agua disponible durante la cocción del queso, lo cual, limitó la hidratación de la caseína.

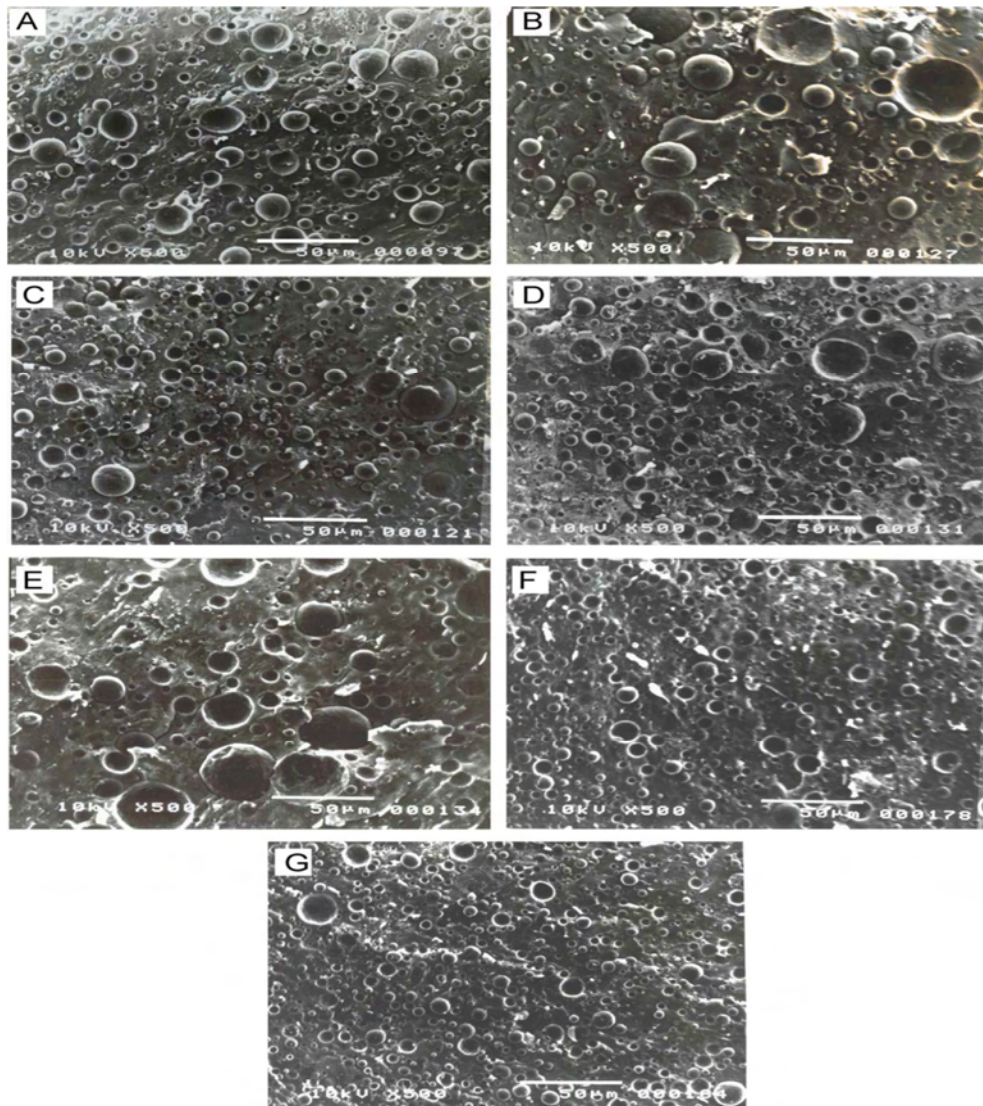
El almidón nativo y waxy no se mostraron coalecidos como el almidón pregelatinizado, no interrumpen la continuidad de la matriz de queso. Asimismo, las partículas de almidón resistente son esféricas con límites prominentes que indican que no existen interacción entre las partículas de almidón y las proteínas. (Noronha, et.al., 2008).

Posteriormente, Noronha, Duggan, Ziegler, O’Riordan y Sullivan (2008) realizaron otro estudio empleando los mismos tipos de almidón a distintas concentraciones para reducir grasa, llegando a las mismas observaciones que en el estudio anterior,

además, de observar que a mayor concentración de almidón, el agua pierde movilidad, afectando las propiedades sensoriales del queso, ya que, matrices proteínicas en las que el agua tenía mayor movilidad producían quesos más suaves, con buena capacidad de fundirse al ser calentados y, en caso de las matrices con menor movilidad de agua, se producían quesos frágiles y sin capacidad de fundirse. En conclusión, usar una mezcla de almidones puede ser útil para obtener ciertas características deseadas en quesos análogos.

Mounsey y O'Riordan (2008) elaboraron quesos análogos elaborados con almidón waxy, nativo, regular, con alto contenido de amilosa, pregelatinizado, entrecruzado y entrecruzado-acetilado, todos ellos provenientes de arroz; observando la influencia de los almidones en la microestructura y propiedades sensoriales de éstos al ser empleados como reemplazo del 15% de la caseína total de un queso análogo. La microestructura mostró diferencias entre el tipo de almidón empleado, destacando que los almidones con contenido regular y alto de amilosa tenían una distribución en la matriz proteínica similar al queso control, además de que la microestructura obtenida con el almidón waxy mostró largos glóbulos de grasa, indicando una menor emulsificación de la grasa, esto es debido a la alta capacidad de retención de agua del almidón waxy, ya que impidió la hidratación y funcionalidad de la caseína, afectando la distribución y el tamaño de los glóbulos de grasa.

Para el caso del almidón entrecruzado, la cantidad de agua disponible para hidratación de la caseína fue mayor, dando una proteína más hidratada y por ende, un menor tamaño de glóbulos de grasa; debido a que el almidón entrecruzado es más resistente a las condiciones de proceso del queso análogo. (Mounsey, et.al.,2008)

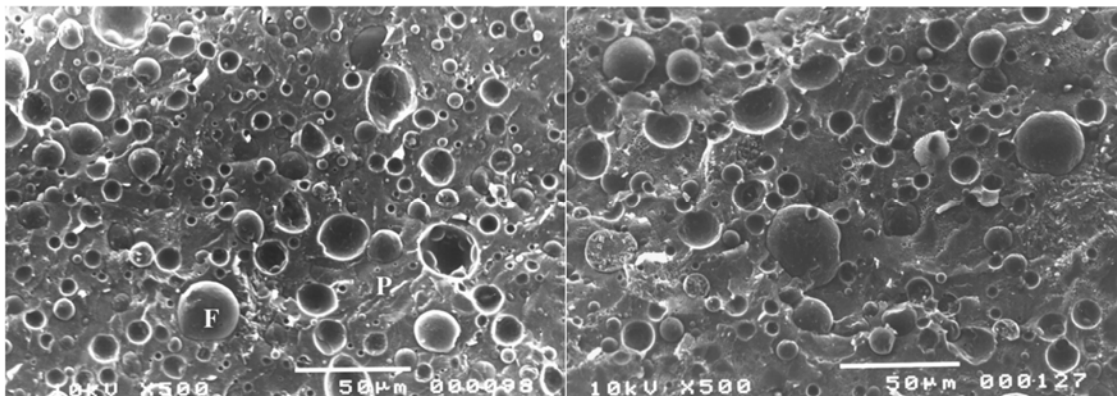


*Fig.4.6 Micrografía electrónicas de A) Control, B) 3% almidón waxy, C) 3% regular, D) 3% almidón de alta amilosa, E) 3% almidón pregelatinizado, F) 3 % almidón entrecruzado, G) 3% almidón entrecruzado acetilado waxy. (Mounsey, et.al., 2008)*

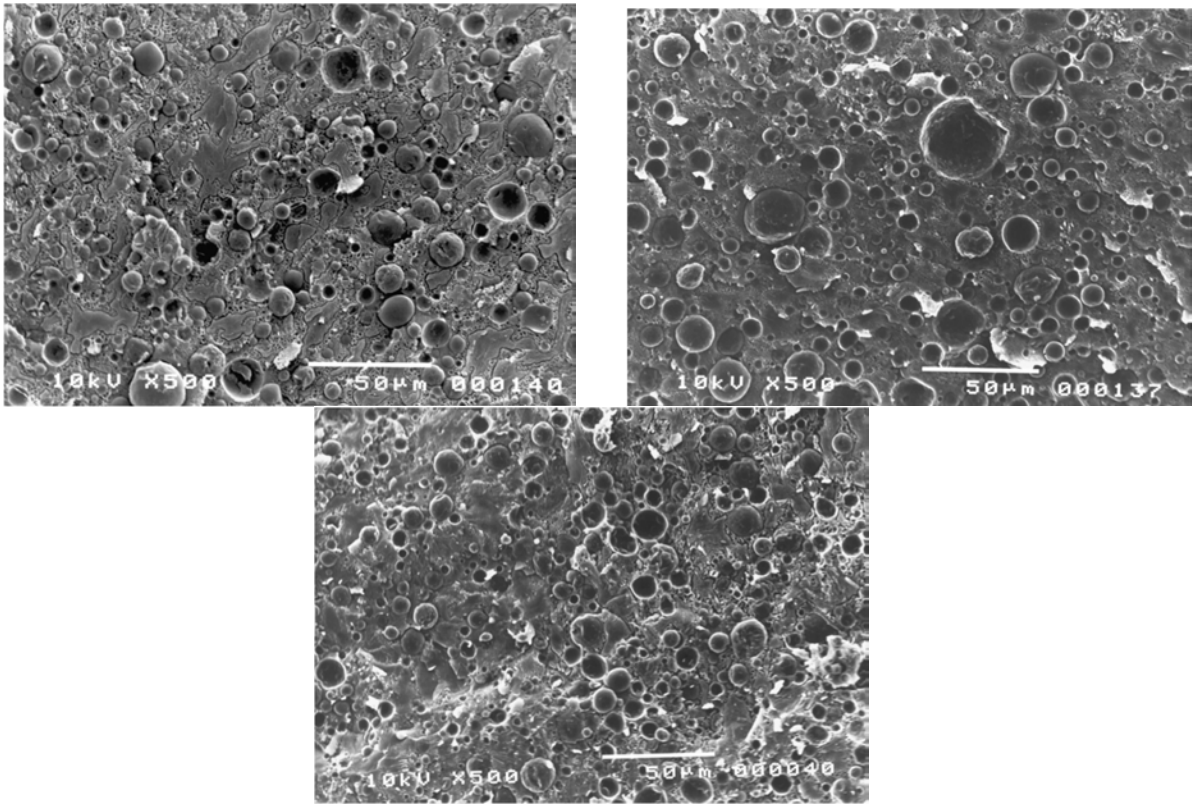
Las propiedades de fusión de los quesos análogos preparados con almidones modificados de arroz fueron medidas, encontrando diferencias entre el queso control y las muestras, ya que fueron menores las propiedades de fusión de los quesos preparados con almidón, destacando principalmente el almidón entrecruzado, entrecruzado acetilado y el mayor descenso en las propiedades de fusión fue mostrado por el almidón waxy, lo cual significa que el uso de estos

almidones si refuerza la red proteínica de los quesos análogos, sin embargo, esto implica una disminución en sus propiedades de fusión. (Mounsey, et.al., 2008)

En base al estudio anterior, Mounsey y O’Riordan (2008) elaboraron quesos análogos con almidón pregelatinizado (3%, 5%, 7% y 9%) de maíz como sustituto parcial de caseína (15%, 25%, 35% y 45%). A niveles altos de almidón se requería mayor tiempo de procesamiento para lograr una estructura emulsificada, debido a la presencia reducida de proteína capaz de emulsificar las gotas de grasa; además de que, al ser dispersable en agua fría, el almidón pregelatinizado se hidrata antes que la caseína, lo cual inhibe la capacidad emulsificante de ésta. La matriz proteínica de queso preparada con 3% de almidón mostró una microestructura parecida al queso control, mientras que los quesos de 5, 7 y 9% presentaron un mayor número de glóbulos grasos y menor homogeneidad en la matriz proteínica.



*Fig.4.7 Microscopía electrónica de a) queso control (F: Glóbulo de grasa, P: Matriz Proteínica) y b) Queso preparado con 3% de almidón. (Mounsey, 2008)*



*Fig.4.8 Microscopía electrónica de Queso con 5, 7 y 9% de almidón (Mounsey, 2008)*

La capacidad de fusión y las microestructuras de queso preparados con almidón de maíz fueron estudiadas por Ye, Hewitt y Taylor (2008) quienes emplearon almidón de maíz normal, waxy y de alta amilosa, variando las proporciones almidón/proteína, demostrando que las capacidades de fusión y microestructuras son afectadas por la inclusión de almidón en la fórmula. El grado de afectación de estas propiedades está dado por el tipo y la concentración de almidón en el queso, así como la manera en que el almidón se presenta en la matriz proteínica del queso; cuando el almidón se presenta en forma de pequeñas partículas dispersas en la matriz proteínica como películas (3% almidón, las propiedades elásticas del queso son reforzadas. Estos sistemas incluyen bajos niveles de almidón gelatinizado y sin gelatinizar, lo cual genera sólo un pequeño cambio en la capacidad de fusión del queso. Cuando el almidón se separa de la matriz proteínica para formar una fase continua (concentraciones de 7% y 10%), las propiedades del queso son predominantemente

dadas por las propiedades del almidón; estos sistemas contienen altos niveles de almidón gelatinizado, con lo cual, la capacidad de fusión del queso disminuye drásticamente. No se observaron diferencias en las microestructuras de los quesos preparados con almidón normal de maíz y almidón waxy; en el caso de los quesos preparados con almidón de alto contenido de amilosa, éste se presentó en forma de esferas regulares, lo cual significa que el almidón con alto contenido de amilosa mantiene la forma granular, siendo más resistente al proceso de gelatinización.

Agudelo, Sepúlveda y Restrepo (2015) estudiaron el efecto de la sustitución de 10% de caseína por almidón ceroso de maíz y papa, encontrando, al igual que Mounsey, que el almidón ceroso de maíz produce quesos más blandos. En el caso de la adhesividad, se encontraron diferencias entre los tratamientos, ya que el reemplazo de caseína con almidón afecta la formación de interacciones proteína-proteína, brindando un carácter débil, requiriendo un mayor trabajo para ser despegados del paladar.

Se analizó el parámetro de gomosidad, encontrando que el queso elaborado con almidón de papa presenta mayor gomosidad, esto se debe a que el carbohidrato empleado permite una interacción estructural de unión mayor con las demás partículas, que hace que sea difícilmente desintegrado con la masticación y que pueda ser tragado en la deglución. (Agudelo, et.al., 2015)

#### [4.7 Análisis del uso de almidones modificados en la elaboración de quesos frescos.](#)

Los almidones modificados pueden ser aplicados en quesos análogos para una gran diversidad de funciones; desde actuar como reductores de grasa hasta dar ciertos parámetros sensoriales.

Las investigaciones realizadas por Noronha, Mousey, Ye y Sandovla demuestran que tanto la modificación del almidón y la cantidad afectan de sobremanera la microscopía y las propiedades sensoriales del queso análogo.

Al ser los quesos análogos una “imitación” de un producto derivado de la leche denominado “queso”, éstos pueden o no tener ciertas propiedades dependiendo del requerimiento comercial, con base a esto se eligen la modificación y cantidad del almidón a agregar en el queso. Por ejemplo, de acuerdo a las investigaciones

realizadas por Ye, para elaborar un queso con una buena capacidad de fusión se requiere de almidones modificados para resistir el proceso de gelatinización, como por ejemplo, almidones acetilados o fosfatados; los cuáles también podrían emplearse para la preparación de quesos análogos que presentan expansión, como es el caso de la investigación realizada por Arimi en 2008.

En el caso de la reducción de grasa en queso, lo que se busca es mejorar la capacidad de retención de agua para evitar la sinéresis y reducir la cantidad de grasa presente en alimento. Al igual que en el caso de los quesos análogos, se debe cuidar la cantidad de almidón presente en la formulación, ya que, de existir poca, se corre el riesgo de aumentar la cantidad de proteína al no haber suficiente retención de agua y provocar reacciones de endurecimiento de proteínas. Por el caso contrario, si hay una excesiva cantidad de almidón presente en el queso, aumenta la retención de agua, disminuyendo la concentración de proteína. Debido a esta situación, se recomienda el uso de un emulsificante como “ayuda” al almidón, ya que, en sinergia y como se demostró en la investigación de Sipahioglu, se forma una red que “atrapa” mejor el agua.

## Capítulo 5. Uso de almidones modificados en Helado

---

### 5.1 Helado

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana *NOM-036-SSA1-1993, Bienes y Servicios. Helados de Crema, de Leche o Grasa Vegetal, Sorbetes y Bases de Mezclas para Helados. Especificaciones Sanitarias* se entiende por helado al alimento producido mediante la congelación con o sin agitación de una mezcla pasteurizada compuesta por una combinación de ingredientes lácteos pudiendo contener grasas vegetales, frutas, huevo y sus derivados, saborizantes, edulcorantes y otros aditivos alimentarios. Quedan comprendidos los siguientes: Helado de crema, Helado de leche, Sorbete, Helado de crema vegetal, Helado de grasa vegetal y Sorbete de grasa vegetal.

Su estructura física es muy compleja, debido a que es un alimento con un complejo sistema fisicoquímico de dos fases, una continua y otra dispersa. La fase continua es una combinación de una solución, una emulsión y una suspensión de sólidos en líquidos. La fase dispersa es una espuma formada por burbujas de aire distribuidas en un medio líquido y emulsionadas con la grasa de la leche. (Baraldi Urrueta, Williams Soberanes, & Pedroza Islas, s.f.)

### 5.2 Clasificación de Helados

De acuerdo a la Unión Europea, los helados se clasifican de acuerdo a su contenido de grasa. Así bien, el Real Decreto clasifica a los helados de la siguiente manera:

- Helado crema: Helado que contiene un mínimo de 8% de materia grasa y un 2.5% de proteínas exclusivamente de origen lácteo.
- Helado de leche: Helado que contiene un mínimo de 2.5% de materia grasa de origen lácteo y un mínimo de 6% de extracto seco magro lácteo.
- Helado de leche desnatada: Helado que contiene máximo 0.30% de materia grasa de origen lácteo y un mínimo de 6% de extracto seco magro lácteo.
- Helado: Helado que contiene un mínimo de 5% de materia grasa alimenticia y las proteínas son exclusivamente de origen lácteo.

- Helado de agua: Helado que contiene un mínimo de 12% de extracto seco total.
- Soberte: Producto que contiene un 15% de frutas y un mínimo de 20% de extracto seco total.

### 5.3 Ingredientes para Helado.

- Leche (fuente de proteína láctea): Las proteínas provenientes de la leche cumplen con dos funciones: 1) Estabilizan las emulsiones y espumas debido a su superficie tensoactiva y 2) Contribuyen al sabor lácteo. (Clarke, 2012)
- Azúcares: Al igual que las proteínas, tienen dos funciones principales en la formulación del helado: 1) Endulzar y 2) Controlar la cantidad de hielo y por lo tanto, la suavidad del helado debido a la disminución del punto de congelación; además de que también afectan la viscosidad de la matriz. (Early, 1998)
- Agua
- Grasa (láctea o vegetal): El tipo de grasa, su composición y punto de fusión tienen gran influencia sobre las características sensoriales y la estabilidad del helado durante la conservación. Dentro del helado, la grasa rodea a las burbujas de aire estabilizándolas. Esto le confiere suavidad al helado y resistencia al derretido. (Baraldi, et.al., s.f.)
- La grasa láctea baja la tendencia del helado a derretirse, tiene un efecto estabilizante, promueve la incorporación y dispersión del aire, incrementa la viscosidad y favorece la formación de pequeños cristales de hielo; esto es debido a la formación de agregados de glóbulos grasos que forman una red que retiene las burbujas de aire. Se puede ocupar grasa vegetal siempre y cuando se mantenga una proporción de grasas sólidas adecuada, con puntos de fusión adecuados para que no se derrita el helado y no produzca una sensación grasosa desagradable en el paladar. (Del Castillo Shelly & Mestres Lagarriga, 2004)
- Emulsionantes: Como ya se mencionó anteriormente, en el helado coexisten dos tipos de emulsiones: una emulsión de grasa en agua y una emulsión de aire en la mezcla. Los emulsionantes son empleados para favorecer la

formación de la emulsión y entre los más utilizados son los ésteres glicéridos de los ácidos grasos, llamados monoglicéridos. (Baraldi, et.al., s.f.)

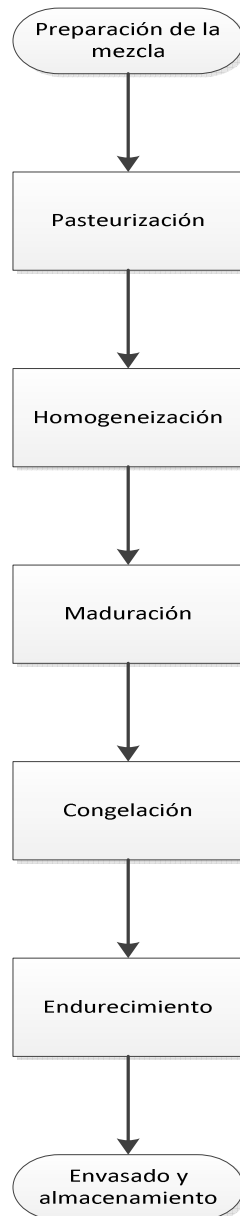
- Estabilizantes: Controlan los movimientos del agua, mejorando la estabilidad del agua durante la conservación. Además de que también impide o retrasa la aparición de textura granulosa que se origina debido a la formación de grandes cristales de hielo como consecuencia de los cambios de temperatura. Imparten una viscosidad que contribuye a la sensación de cremosidad e incrementan la resistencia a la fusión. (Marshall, Goff, & Hartel , 2003)

#### 5.4 Proceso de obtención de helados.

- Preparación de la mezcla: Mezcla de los ingredientes sólidos y líquidos. Comenzando por los ingredientes líquidos en un tanque de llenado, circulando esa mezcla por un embudo donde se le agregan los ingredientes sólidos, mezclando hasta que se completa.
- Pasteurización: Se realiza mediante intercambiadores de calor, donde se suministra a la mezcla un tratamiento en continuo a alta temperatura/tiempo corto de 82°-87°C durante 15-30 segundos.
- Homogeneización: El objetivo de este proceso es la distribución de la grasa en glóbulos graso de menor tamaño. Además, el emulsionante se reparte uniformemente sobre la superficie de los glóbulos grasos.
- Maduración: La mezcla se enfría a una temperatura de 5°C, manteniendo esa temperatura durante un periodo de 24 horas. Los fenómenos que tienen lugar durante la maduración de la mezcla son: 1) Completa hidratación de los ingredientes en polvo, 2) Cristalización de la materia grasa, 3) Proporcionar resistencia al derretido.
- Congelación: Después de la maduración, la mezcla para helado se congela en un congelador de funcionamiento continuo. En este paso se desarrolla la estructura del helado, mientras tienen lugar las siguientes operaciones: 1) Incorporación del aire mediante inyección. 2) Congelación del agua, 3) Batido
- Endurecimiento o congelación profunda: La mezcla se encuentra a -5 °C al salir del congelador continuo y se ha congelado el 50% del agua. A esa

temperatura, la consistencia de la mezcla es parecida a la del hielo blando, por lo cual se requiere una congelación profunda para mantener la textura. Esto se logra mediante túneles de endurecimiento con aire a  $-40^{\circ}\text{C}$ ; cuando el centro del helado alcanza la temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$ , se considera que el endurecimiento se ha completado.

- Envasado y Almacenamiento (Marshall, *et.al.* 2003), (Early,1998)



*Fig.5.1 Diagrama de Elaboración de Helado.*

### 5.5 NOM-036-SSA1-1993 Normatividad para Helado

La NOM-036-SSA1-1993, Bienes y Servicios. Helados de Crema, de Leche o Grasa Vegetal, Sorbetes y Bases de Mezclas para Helados establece los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que deben cumplir los productos elaborados bajo la definición de Helado.

*Tabla 5.1 Límites microbiológicos permitidos para helado. (Norma Oficial Mexicana NOM-036-SSA1-1993, Bienes y Servicios. Helados de Crema, de Leche o Grasa Vegetal, Sorbetes y Bases de Mezclas para Helados. )*

<b>Microorganismo</b>	<b>Límites (UFC/g)</b>
<b>Mesofílicos aerobios</b>	200,000
<b>Coliformes Totales</b>	100
<b>Salmonella en 25 g</b>	Ausente

Las bases o mezclas para elaborar helados de crema, de leche o grasa vegetal y sorbetes deben cumplir con las siguientes especificaciones microbiológicas:

*Tabla 5.2. Límites microbiológicos para mezclas de helado. (Norma Oficial Mexicana NOM-036-SSA1-1993, Bienes y Servicios. Helados de Crema, de Leche o Grasa Vegetal, Sorbetes y Bases de Mezclas para Helados. )*

<b>Microorganismo</b>	<b>Límites (UFC/g)</b>
<b>Mesofílicos aerobios</b>	100,000
<b>Coliformes Totales</b>	50
<b>Salmonella en 25 g</b>	Ausente
<b>Hongos y Levaduras</b>	50

### 5.6 Almidones modificados en helados.

La congelación de los alimentos causa importantes cambios en la estructura de los mismos debido a la formación de cristales de hielo y el cambio en la concentración de solutos y macromoléculas dispersas en la fase no congelada. Los hidrocoloides son usados en formulaciones de alimentos congelados debido a que son capaces

de evitar la recristalización del hielo, además de otorgar atributos de textura deseables al alimento. Se utilizan gomas, carboximetil celulosa y almidones nativos o modificados. (Alimentaria, 2009)

Los almidones modificados más empleados para alimentos congelados son los entrecruzados y estabilizados, (Goff, 2004) ya que ofrecen resistencia a la hinchazón, gelatinización y retrogradación del almidón, con lo cual, proveen al alimento de estabilidad ante los ciclos de congelación-descongelación.

La estructura del helado es una espuma de tres componentes formada por un entretrejido de glóbulos de grasa y cristales de hielo dispersos en una fase acuosa muy viscosa. Al disminuir la grasa ese entretrejido se ve alterado, lo cual impacta en la textura. El uso de almidones incrementa la viscosidad de la fase acuosa y mejora la textura. (Prado Barragán & Pedroza Islas, s.f.)

Aime, Arntfield, Malcolmsom y Ryland (2001) realizaron el análisis textural de helados de vainilla reducidos en grasa usando almidón de chícharo y preparando helados con 10, 5,2.5 y 0.4% de grasa. Se midieron parámetros sensoriales entre los cuales se destacan la frialdad, firmeza, suavidad y textura en boca. No se encontraron diferencias significativas ni correlación entre la cantidad de grasa en los parámetros de frialdad. Por otro lado, se reportó que la textura de los helados cuya formulación había sido reducida en los niveles de grasa y sólidos totales es más firme que las muestras preparadas con alto contenido de grasa y sólidos totales, lo cual demuestra que el almidón modificado es capaz de emular las características sensoriales de la grasa láctea en el helado. Sin embargo, en la segunda prueba de firmeza para el helado con 0.4% de grasa, la firmeza fue calificada con un valor demasiado alto, lo cual sugiere que la fuente de almidón tienen una gran influencia en las características finales del producto, ya que es probable que los polímeros de almidón en los helados más firmes interactuaran para formar geles de almidón, incrementando la resistencia a la deformación.

Ocurrió un decremento de la suavidad al disminuir el contenido de grasa. Los panelistas calificaron al helado con menor contenido de grasa como el menos suave, lo cual indica que el uso de almidón modificado en productos bajos en grasa

no da resultados similares a los de contenido de grasa regular en los parámetros de suavidad y cremosidad. En general, la habilidad de los almidones modificados de cambiar o mejorar la textura del helado depende en gran medida de la fuente de almidón, ya que si esta tiene tendencia a gelar en la retrogradación, se formaran interacciones excesivas que se verán reflejadas en la textura del helado. (Aime, et.al., 2001)

Pino (2011) elaboro helados bajos en grasa utilizando almidón de papa para reducir grasa en un 15, 30 y 45% del total de la grasa; comparando éstos con un tratamiento control de 100% de grasa. Realizó las pruebas bromatológicas, fisicoquímicas y sensoriales correspondientes. Las características organolépticas de los helados preparados con 15 y 30% de almidón fueron similares a las obtenidas con el tratamiento control. Para el caso del helado preparado con 45% de almidón presento características menos apetecibles que los tratamientos anteriores. Los niveles de nutrientes de los helados preparados mostraron los valores óptimos de acuerdo a la normatividad vigente en Ecuador, sin embargo, en los helados con 30 y 45% de almidón presentan menor porcentaje de grasa. Sin embargo, debido a que el helado preparado a 45% de almidón presenta características sensoriales desagradables con respecto al control, se llega a la conclusión de que la concentración óptima para obtener un helado reducido en grasa y con excelentes características sensoriales es el de 30% de almidón.

#### 5.7 Análisis del uso de almidones modificados en la elaboración de helados

A pesar de la funcionalidad del almidón, su uso no esta tan generalizado en helados debido al fenómeno de retrogradación, ya que, debido a este, el almidón tiende a perder agua al someterse a varios ciclos de congelación-descongelación. (Diaz Barrera, 2015). Es por ello que se emplean mezclas con gomas estabilizadoras como CMC, goma Guár, gomas celulosas, gomas xantanas, alginatos y carrageninas. La mayoría de estas gomas tienen propiedades sinérgicas al ser usadas en mezcla. Sin embargo, una opción de investigación de almidón para uso seria cualquier almidón entrecruzado o estabilizado, debido a que esta modificación aumenta la estabilidad del almidón a ciclos de congelación y descongelación, impidiendo la sinéresis del producto y dando mayor estabilidad al helado.

## Conclusiones

- Se logró recopilar y sintetizar la información más relevante de los últimos años acerca del uso de almidones modificados en productos lácteos a través de una exhaustiva investigación que involucró bases de datos actualizadas, artículos científicos de revistas especializadas y literatura.
- Se reunió información acerca de los orígenes, estructura y química del almidón, asimismo, se revisaron las modificaciones físicas (pregelatinización, almidones modificaciones mecánicamente, gránulos y extrusión) y químicas (esterificaciones, fosfataciones, hidroxipropilaciones, entrecruzamientos, oxidaciones, acidificaciones y dextrinificaciones) a las cuáles se somete el almidón para obtener características especiales y su uso en alimentos como aditivo, así como su legislación por JECFA, Unión Europea, FDA, y COFEPRIS, en la cual se establece el grado y la cantidad de agentes para realizar la modificación y obtener un producto inocuo para su uso en alimentos.
- Se observó una amplia aplicación de almidones en productos lácteos; desde las más comunes como texturizante en yogurt empleando almidón entrecruzado, reducción de grasa en yogurt con almidón acidificado, hidrocoloide en queso análogo empleando almidones resistentes, reducción de grasa en queso incorporando almidón waxy succinilado y reducción de grasa en helados.
- Asimismo, se advierte que, debido a la gran diversidad de fuentes de almidón que existen, la selección de éste se debe basar en las características que se desean en el alimento; de igual manera, se debe cuidar la proporción en la cual es incluido el almidón en la formulación, ya que se puede lograr efectos contrarios a los deseados, afectando de manera negativa los parámetros sensoriales. De igual manera, se debe cuidar la proporción en la cual se agrega el almidón, ya que una baja proporción puede no impartir las características deseadas y una alta proporción puede afectar negativamente la propiedad sensorial buscada.

- En la mayoría de las investigaciones consultadas, existe una tendencia por emplear los almidones entrecruzados para reducir grasa debido a las tendencias del consumo de alimentos “light” que existen a nivel mundial.
- Se está dando una aplicación del almidón como ingrediente cuando la mayoría de las legislaciones definen al almidón como aditivo.
- Se logró recopilar y sintetizar fuentes de información actualizada, las cuáles pueden ser empleadas como referencia para investigaciones futuras, ya sea en la industria o en centros de investigación científica.

## Bibliografía

Agudelo Chaparro, J., Sepúlveda Valencia, J., & Restrepo Molina, D. (2015). Efecto de la adición de dos tipos de almidones en las propiedades texturales de Queso Análogo. *Revista Nacional Agricultura de Medellín*, 1(68).

Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias. Secretaría de Salud, 2012

Aime, D., Arntfield, S., Malcolmsom, L., & Ryland, D. (2001). Textural Analysis of fat reduced vanilla ice cream products. 34.

Akoh, C. (1998). Fat Replacers. *Food Technology*, 52(3).

Alimentaria, I. (Octubre de 2009). *Industria Alimenticia*. Recuperado el Diciembre de 2016, de <http://www.industriaalimenticia.com/articles/82980-estabilizadores-en-los-alimentos>

Alistair, M. S., Philipps, G. O., & Williams, P. A. (2006). *Food Polysaccharides and their applications* (Segunda ed.). CRC Taylor and Francis .

Amaya-Llano, S., Martínez-Alegría, A., Zazueta-Morales, J., & Martínez-Bustos, F. (2007). Acid thinned jicama and maize starches as fat substitute in stirred yogurt. 41.

Ambigaipalan, P., Hoover, R., Donner, E., & Liu, Q. (2013). Retrogradation characteristics of pulse starches. *Food Research International*, 54.

Arancibia, C., Castro, C., Jublot, L., Costell, E., & Bayarri, S. (2015). Colour, rheology, flavour release and sensory perception of dairy desserts. Influence of thickener and fat content. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 408-416.

Arimi, J., Duggan, E., O'Riordan, E., O'Sullivan, M., & Lyng, J. (2008). Microwave expansion of imitation cheese containing resistant starch. *Journal of Food Engineering* (88).

Badui, S. D. (2013). *Química de los Alimentos*. México: Pearson.

Baraldi Urrueta, V., Williams Soberanes, E., & Pedroza Islas, R. (s.f.). *Hablemos Claro*. (Universidad Iberoamericana) Obtenido de Los Helados.

Belitz, H., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (Cuarta ed.). Berlin, Alemania: Springer.

Bergthaller, W. (2004). Developments in potato starches. En A.-C. Elliason , *Starch in food. Structure, function and applications* (pág. 250). Boca Raton: CRC Press.

- Briffaz A., B. P.-M. (January de 2014). Modelling of water transport and swelling associated with starch. *Journal of Food Engineering*, 121, 143-151.
- Clarke, C. (2012). *The Science of Ice Cream*. Uk: The Royal Society of Chemistry.
- CODEX STAN 192. (s.f.). 1995.
- CODEX STAN 206. (1999).
- COFEPRIS (2010). Recuperado en Mayo 2017. <http://www.cofepris.gob.mx/Paginas/Inicio.aspx>
- Considine, T., Noisuwan, A., Yacine Hemar, Y., Wilkinson, B., Bronlund, J., & Kasapis, S. (2011). Rheological investigations of the interactions between starch and milk. *Food Hydrocolloids*, 25, 2008-2017.
- Cui, B., Lu, Y.-m., Tan, C.-p., Wang, G.-q., & Li, G.-H. (2014). Effect of cross-linked acetylated starch content of the structure and stability of set yoghurt. *Food Hydrocolloids*, 35.
- Davidson, M. P., Salminen, S., & Thorngate, J. H. (2002). *Food Aditives*. (L. A. Branen, Ed.) USA: Marcel Dekker.
- Del Castillo Shelly, R., & Mestres Lagarriga, J. (2004). *Productos Lácteos. Tecnología* (209-211 ed.). Espala: Ediciones UPC.
- Denominación de Origen Queso Manchego*. (s.f.). (Fundación Consejo Regulador de la Denominación de Origen de Queso Manchego ) Recuperado el 2016
- Desai, N., Shepard, L., & Drake, M. (2013). Sensory properties and drivers of linking for Greek yogurts. *Journal of Dairy Science*, 96.
- Diaz Barrera, Y. (2015). Determinación de las propiedades físicas, químicas, tecnofuncionales y la estabilidad en congelación/descongelación del almidón de cuatro variedades de *Solanum tuberosum* spp. *andigenum* (Papa nativa). Tesis. Andahuaylas, Perú.
- Duggan, E., Noronha, N., O'Riordan, E., & O'Sullivan, M. (2008). Effect of resistant starch on the water binding properties of imitation cheese. *Journal of Food Engineering*(84).
- Early, R. (1998). *Tecnología de los Productos Lácteos*. Zaragoza, España: Acribia S.A. .
- Eck, A. (1986). *Cheesemaking. Science and Technology*. Francia: Lavoisier Publishing Inc.
- EFSA (2017) <http://www.efsa.europa.eu/>

Eliasson, A., & Wahlgren, M. (2000). Starch-lipid interactions and their relevance in food products. En A.-C. Eliasson, *Starch in Food. Structure, function and applications* (pág. 441). Boca Raton, USA: Woodhead Publishing Limited.

FAO (2014) Obtenido de FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/capacity-development/food-regulations/es/>

Fatih, Y. (2010). *Development and Manufacture of Yogurt and Other Functional Dairy Products*. US: CRC Press.

Fennema, O. R. (2000). *Química de Alimentos*. Zaragoza: Acribia.

Food and Drug Administration (Abril, 2016). *Code of Federal Regulation Title 21* Recuperado el Mayo de 2017, de <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=172.892>

Food Standards Agency (2016). Current EU approved additives and their E Numbers. Recuperado en Mayo 2017 <https://www.food.gov.uk/science/additives/enumberlist>

Fox, P. F. (2009). Milk. A review. En A. Thompson, M. Boland, & S. Harjinder, *Milk Proteins. From expression to Food* (págs. 2-43). New Zealand: Elsevier Inc.

Gałkowska, D. (2008). Effect of saccharides on gelatinization and retrogradation of modified potato starch. *Electronic of Journal of Polish Agricultural Universities*, 11(1).

García Garibay, M., Sergio, R. M., & Gómez Ruíz, L. (2004). Productos lácteos. En M. García Garibay, R. Quintero Ramírez , & A. López Munguía , *Biología Alimentaria*. Ciudad de México: Limusa S.A de C.V.

Goff, H. (2004). Modified starches and the stability of frozen foods. En A.-C. Eliasson, *Starch in Food. Structure, Function and Applications* (págs. 425-436). Woodhead Publishing.

Guinee, T. (2011). *Cheese Analogues*.

Johnson , M. (2011). *Low-Fat and Reduced-Fat Cheese* .

Kai Wang, P. W. (2015). The biosynthesis, structure and gelatinization properties of starches from wild and cultivated African rice species (*Oryza barthii* and *Oryza glaberrima*). *Carbohydrate Polymers*, 129.

Koppmann, M. (2011). *Manual de Gastronomía Molecular*. Buenos Aires, Argentina: Siglo XXI Editores.

Law, B. A., & Tamime, A. (2010). *Thecnology of Cheesemaking*. United Kingdom: Wiley-Blackwell.

Lee, W., & Lucey, J. (2010). Formation and Physical Properties of Yogurt. *t*, 23(9), 1127-1136.

Lobato-Calleros, L., Ramírez Santiago, C., Vernon Carter, E., & Alvarez Ramírez, J. (2014). Impact of native and chemically modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity of reduced-fat stirred yogurt. *Journal of Food Engineering*, 131, 110-115.

Manson, W. (2009). Starch Use in Foods. En J. Bemiller, & R. Whistler, *Starch. Chemistry and Technology* (Segunda ed.). Elsevier.

Marshall, R., Goff, H., & Hartel, R. (2003). *Ice Cream*. New York: Kluwer Academic.

Matignon, A., Moulin, G., Barey, P., Mauduit, S., Sieffermann, J., & Michon, C. (2014). Starch/carrageenan/milk proteins interactions studied using multiple staining and Confocal Laser Scanning Microscopy. *Carbohydrate Polymers*, 99, 345-355.

McDonagh, P. (2012). Native, modified and clean label starches in food and beverages. En D. Baines, *Natural Foods Additives, ingredients and flavourings* (págs. 162-174). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Morell, P., Hernando, I., Llorca, E., & Fiszman, S. (2015). Yogurts with an increased protein content and physically modified starch: rheological, structural, oral digestion and sensory properties related to enhanced capacity. *Food Research International*, 70.

Mounsey, J., & O'Riordan, E. (2008). Characteristics of imitation cheese containing native or modified rice starches. *Food Hydrocolloids*(22).

Mounsey, J., & O'Riordan, E. (2008). Influence of pre-gelatinised maize starch on the rheology, microstructure and processing of imitation cheese. *Journal of Food Engineering*(84).

Norma Oficial Mexicana NOM-036-SSA1-1993, Bienes y Servicios. Helados de Crema, de Leche o Grasa Vegetal, Sorbetes y Bases de Mezclas para Helados. (s.f.).

Norma Oficial Mexicana NOM-121-SSA-1994, BIENES Y SERVICIOS. QUESOS: FRESCOS, MADURADOS Y PROCESADOS. ESPECIFICACIONES SANITARIAS. (s.f.).

Norma Oficial Mexicana NOM-181-SCFI-2010 Yogurt. Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba. (s.f.).

Noronha, N., Duggan, E., Ziegler, G., O'Riordan, E., & O'Sullivan, M. (2008). Inclusion of starch in imitation cheese: Its influence on water mobility and cheese functionality. *Food Hydrocolloids*(22), 1612-1621.

- Noronha, N., Duggan, E., Ziegler, G., Stapleton, J., O'Riordan, E., & O'Sullivan, M. (2008). Comparison of microscopy techniques for the examination of the microstructure of starch-containing imitation cheeses. *Food Research International*(41).
- O'Riordan, E., Duggan, E., O'Sullivan, M., & Noronha, N. (2011). Production of Analogue Cheeses. En A. Tamime (Ed.), *Processe of Cheese and Analogues* (págs. 219-239). Blackwell Publishing Ltd.
- Pang, Z., Deeth, H., Prakash, S., & Bansal, N. (2015). Development of rheological and sensory properties of combinations of milk proteins and gelling polysaccharides as potential gelatin replacements in the manufactured of stirred acid milk gels and yogurt. *Journal of Food Engineering*, 169.
- Pico Falconi, P. R. (2011). Utilización de Diferentes Niveles de Almidón de Papa (15,30 y 45%) como sustituto de la Grasa en Elaboración de Helado de Leche. Chimborazo, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Prado Barragán, A., & Pedroza Islas, R. (s.f.). *Hablemos Claro*. Obtenido de [http://www.hablemosclaro.org/Temas/4/33/Productos\\_l%C3%A1cteos\\_light#.WJFz7VN97IV](http://www.hablemosclaro.org/Temas/4/33/Productos_l%C3%A1cteos_light#.WJFz7VN97IV)
- Prasad N., L., & Sherkat, F. (2012). Influence of Galactooligosaccharides and Modified Waxy Maize Starch on Some Attributes of Yogurt. *Journal of Food Science*, 78(1).
- Prentince, J. H. (1992). *Dairy Rheology. A concise Guide*. United States of America: VCH Publisher, Inc.
- Radi, M., Niakousari, M., & Amiri, S. (2009). Physicochemical, Textural and Sensory Properties of Low-Fat Yogurt Produced by Using Modified Starch as a Fat Replacer. *Journal of Applied Sciences*, 9(11).
- Ramesh C., W. C. (2006). *Manufacturing yogurt and fermented milk*. USA: Publishing State Avenue.
- Ramírez López , C., & Vélez Ruíz, J. (2012). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. . *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 6(2).
- Ramírez Sucre, M., & Vélez-Ruiz, R. (2009). Efecto de la incorporación de estabilizantes en la viscosidad de bebidas lácteas no fermentadas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 3(2), 4-12.
- Real Decreto 618. (1998). *Decreto por el cual se aprueba la Reglamentación técnico-sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de helados y mezclas envasadas para congelar*. .

- Ribeiro Diamantino, V., Arantes Beraldo, F., & Nakata Sunakozawa, T. (2014). Effect of octenyl succinylated waxy starch as a fat mimetic on texture, microstructure and physicochemical properties of Minas fresh cheese. *LWT-Food Science and Technology*(56).
- Sandoval, A., Rodríguez, E., & Fernández, A. (2005). Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Dyna*, 72(146), 45-53.
- Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E., & Vernon-Carter, E. (2004). Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *International Dairy Journal*, 14.
- Saunders, A. (2011). Dairy Desserts. En J. Fuquay, P. Fox, & P. McSweeney, *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Elsevier.
- Scott, R., Robinson, R., & Wilbey, R. (2002). *Fabricación de Queso*. Zaragoza, España: Acribia, S.A. .
- Shannon Jack C., G. D. (2009). Genetics and Physiology of Starch Development. En W. R. Bemiller James, *Starch: Chemistry and Technology* (3a ed., pág. 25). United States of America: Elsevier.
- Sipahioglu, O., Alvarez, V., & Solano-López, C. (1999). Structure, physico-chemical and sensory properties of feta cheese made with tapioca starch and lecithin as fat mimetics. *International Dairy Journal*, 9, 783-789.
- Soukoulis, C., Panagiotidis, P., Koureli, R., & Tzia, C. (2007). Industrial Yogur Manufacture: Monitoring of Fermentation Process and Improvement of Final Product Quality. *Journal of Dairy Science*, 90, 2641-2654.
- Tamime, A. (2011). *Processed Cheese and Analogues*. United Kingdom: Wiley-Black Well Publishing.
- Tamime, A., & Robinson, R. (2007). *Tamime and Robinson's Yogurth*. Science and technology. North America: CRC Press Woodhead Publishing Limited.
- Tang, M. C., & Copeland, L. (2007). Analysis of complexes between lipids and wheat starch. *Carbohydrate Polymers*, 67, 80-85.
- Tejeda, C. (2013). Mercado del yogurt seguirá "cuajando" en México. *El Economista*.
- Walstra, P., Geurts, T., & al., e. (2001). *Ciencia de la leche y tecnología de los productos lácteos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Ye, A., Hewitt, S., & Taylor, S. (August de 2008). Characteristics of rennet-casein-based model processed cheese containing maize starch: Rheological properties, metalibilities and microstructures,. *Food Hycrocolloids*(23), 1220-1227.

Yongfeng, A. (2013). Structures, properties, and digestibility of resistant starch. Graduate Theses and Dissertations.

Zong-qiang Fua, L.-j. W.-g. (2013). The effect of partial gelatinization of corn starch on its retrogradation. *Carbohydrate Polymers*, 97, 512-517.