



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**

## **Almidones Modificados y su uso en Panificación**

QUE PRESENTA:

**Diana Mirel Tadeo Vega**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**Ingeniera en Alimentos**

ASESOR: Dr. Enrique Martínez Manrique

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## Índice

<b>Resumen.....</b>	<b>4</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>5</b>
Capítulo 1: Antecedentes .....	6
<b>1.1 Panificación.....</b>	<b>6</b>
1.1.1 <i>Proceso general para la elaboración de pan.</i> .....	6
1.1.2 <i>Etapas del proceso</i> .....	7
<b>1.2 Almidón.....</b>	<b>12</b>
1.2.1 <i>Fuentes alimentarias</i> .....	13
1.2.2 <i>Estructura del almidón y sus propiedades</i> .....	14
1.2.3 <i>Gelatinización y retrogradación del almidón</i> .....	16
<b>1.3. Funcionalidad del almidón en el proceso de panificación.....</b>	<b>19</b>
<b>1.4. Almidones Modificados.....</b>	<b>21</b>
1.4.1 <i>Tipos y Métodos de modificación</i> .....	22
1.4.2 <i>Usos como aditivos</i> .....	30
<b>1.5 Otras aplicaciones.....</b>	<b>32</b>
1.5.1 <i>Recubrimientos comestibles</i> .....	32
1.5.2 <i>Productos lácteos: Yogurt</i> .....	33
1.5.3 <i>Productos cárnicos: Salchichas</i> .....	34
<b>1.6 Comparación con hidrocoloides .....</b>	<b>34</b>
1.6.1 <i>Almidón vs goma xantana</i> .....	38
1.6.2 <i>Almidón vs goma guar</i> .....	40
<b>1.7 Sinergismo con harinas no convencionales.....</b>	<b>41</b>
<b>1.8 Extensión de vida de anaquel.....</b>	<b>42</b>
Capítulo 2: Metodología.....	45
<b>Objetivo General.....</b>	<b>47</b>
<b>Objetivo Particular 1.....</b>	<b>47</b>
<b>Objetivo Particular 2.....</b>	<b>47</b>
Capítulo 3: Resultados .....	48
<b>3.2 Aplicaciones en la industria de panificación según el tipo de almidón modificado .....</b>	<b>50</b>
<b>3.3 Análisis de un trabajo experimental.....</b>	<b>54</b>
<b>3.4 Investigación de campo .....</b>	<b>58</b>
<b>3.5 Análisis de resultados.....</b>	<b>60</b>

Conclusiones .....	62
Anexo 1 .....	64
<b>Referencias .....</b>	<b>65</b>

### **Índice de Figuras**

<i>Figura 1. Proceso general para la elaboración de pan.....</i>	6
<i>Figura 2. Estructura química de la amilosa.....</i>	14
<i>Figura 3. Estructura química de la amilopectina.....</i>	15
<i>Figura 4. Gelatinización del almidón.....</i>	17
<i>Figura 5. Proceso de calentamiento y enfriamiento del almidón.....</i>	19
<i>Figura 6. Estructura de un granulo de almidón con entrecruzamiento.....</i>	25
<i>Figura 7. Representación esquemática de la acción de la <math>\alpha</math>-amilasa sobre los polímeros de almidón.....</i>	29
<i>Figura 8. Estructura de la goma xantana .....</i>	38
<i>Figura 9. Resultados de la investigación de campo .....</i>	59

### **Índice de Tablas**

<i>Tabla 1. Alimentos ricos en almidón.....</i>	13
<i>Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del almidón.....</i>	16
<i>Tabla 3. Tipos de modificaciones del almidón nativo.....</i>	23
<i>Tabla 4. Usos y funciones de los almidones modificados en la industria alimenticia.....</i>	30
<i>Tabla 5. Almidones modificados más usados en la industria y sus aplicaciones.....</i>	50

## ***Resumen***

La industria alimentaria está en una búsqueda constante de ingredientes y procesos que permitan el mejoramiento y desarrollo de nuevos productos. Siendo un ejemplo de estos ingredientes el almidón modificado. La producción de estos almidones es una de las actividades agroindustriales más importantes a nivel mundial ya que no solo ofrecen una amplia gama de aplicaciones en la industria de alimentos, sino que también en la industria textil, de papel, petrolera, fármacos, etc. Al estudiar las modificaciones de los almidones y sus usos en la industria se puede dar a conocer que estos son ingredientes que toleran técnicas de procesamiento, transporte y almacenamiento, ya que al modificarlos lo que se busca es conferirles propiedades funcionales que permitan contrarrestar las deficiencias de su estado nativo, logrando crear productos de mayor calidad que amplían la competencia en el mercado y que pueden generar la preferencia del consumidor. En el presente trabajo se realizó una investigación donde se describió la importancia del uso de los almidones modificados en los productos de panificación, bollería, galletas dulces y saldas, repostería y masas congeladas, mediante una revisión documental actualizada. La información recopilada se comparó y analizó para poder explicar la funcionalidad de los diferentes almidones modificados en dichos productos, además se describieron las técnicas físicas, químicas y enzimáticas que la industria usa para modificar la estructura de los almidones nativos. También se realizó una comparación entre los almidones modificados y los hidrocoloides de la cual se concluye que los almidones modificados tienen mayores ventajas de uso, ya que tienen mayor tolerancia a las condiciones de proceso de manufactura manteniendo su estabilidad en el producto. Posteriormente se concluyó que el almidón es uno de los componentes más importantes para la transformación de la masa a un pan, ya que este brinda textura y calidad. Así mismo se observó que los almidones pregelatinizados, los entrecruzados y los hidroxipropilados son los más utilizados en la industria de panificación. Finalmente se realizó una encuesta a siete panaderías locales, a través de la cual, se supo que los panaderos no conocen el uso de los almidones modificados, ante esto se propone como una solución implementar cursos para dar a conocer toda esta información teórica explicada en el presente trabajo. Los cuales pueden ser dirigidos tanto a los panaderos como a los dueños de las mismas panaderías locales, siendo esto también un beneficio tanto para los empresarios y productores de dichos almidones modificados y así mismo para los consumidores de estos productos horneados.

## ***Introducción***

Los productos panificados leudados tienen como principal componente de su formulación a la harina de trigo. Sin considerar la incidencia del proceso de elaboración, las características reológicas y fermentativas de la harina utilizada afecta las cualidades del producto final en grado significativamente alto. Así, para cada producto considerado, la calidad y características de la harina a utilizar determina la elección de una u otra variante en el proceso de elaboración; por ejemplo, el uso de almidones modificados.

En la industria de alimentos el almidón es importante porque ofrece una amplia gama de propiedades funcionales que determinan la calidad del producto final. Este polisacárido se encuentra presente en una gran variedad de cultivos, como cereales (50-80% base seca), legumbres (25-50% base seca) y tubérculos (60-95% base seca) (Borries, 2014). Por sus características e importancia, sus modificaciones se han adecuado a los múltiples productos industrializados dando propiedades como estabilizadores de textura, espesantes y gelificantes, además de que con ellos se puede controlar la sinéresis de los productos, lo que influye directamente a la prolongación de la vida de anaquel.

Las propiedades funcionales del almidón varían en función de la cantidad y conformación de las moléculas de amilosa y amilopectina, la estructura granular, así como otros constituyentes menores, por lo que la industria de la modificación del almidón está en constante evolución con numerosas posibilidades para mejorar los atributos positivos y eliminar las deficiencias de los nativos, mediante varios métodos como químicos, físicos, biológicos o enzimáticos.

En el presente trabajo se llevará a cabo un análisis de la importancia de los almidones modificados en la industria de la panificación a través de su aplicación como aditivo para mejorar la calidad de los productos y promover una mayor vida de anaquel. Esto se realizará siguiendo una metodología cuantitativa mediante una exploración en internet, la cual iniciará con una búsqueda del tema en artículos, tesis, libros, revistas y páginas web. Dicha información se recopilará a través del año, tema estudiado, aplicación e institución en que se realizó y finalmente se redactará a través de un análisis y comparación de textos. Aunado a esto se realizará una investigación de campo, donde se sabrá si el término de almidón modificado es conocido en el mercado de panaderías locales.

# Capítulo 1: Antecedentes

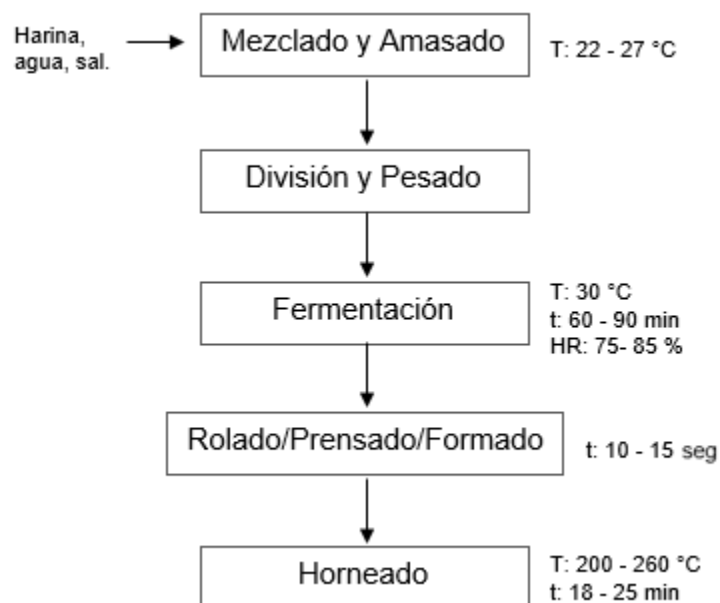
## 1.1 Panificación

Proceso mediante el cual se elaboran productos de panadería, refiriéndose a aquellos que en su composición contiene levadura, es decir, productos fermentados, en razón de que son estos quienes demandan una harina con propiedades reológicas específicas (Mohan y col., 2001). Resultantes de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies propias de la fermentación penaría, como *Saccharomyces cerevisiae* (Mesas y Alegre, 2002).

Estos productos de panificación pueden seccionarse por grupos como: panificación, bollería, galletas dulces y saladas, repostería. Así como también se pueden considerar las masas congeladas.

### 1.1.1 Proceso general para la elaboración de pan.

Según el sistema de panificación y del tipo de pan o producto panificado a producir se puede tener pequeñas diferencias en el proceso de elaboración, pero generalmente consta de las siguientes etapas que se muestra en el diagrama de bloques (Figura 1).



**Figura 1.** Proceso general para la elaboración de pan.  
Fuente: Mesas, 2002; Mohan y col. 2001.

### **1.1.2 Etapas del proceso**

#### **Mezclado y Amasado**

Sus objetivos son lograr la mezcla íntima de los distintos ingredientes y conseguir, por medio del trabajo físico del amasado, las características plásticas de la masa, así como su perfecta oxigenación (Mesas y Alegre, 2002). Se trata de lograr el desarrollo y acondicionamiento de las proteínas de la harina en una estructura en forma de red tridimensional, conocida como gluten, formada por las proteínas polimerizadas (gliadinas: que dan elasticidad y gluteninas: que brindan fuerza a la masa). La formación de esta red proteínica tiene lugar gracias a la presencia del agua de amasado, el trabajo mecánico proporcionado y la oxidación producida durante el proceso, que favorece la formación de puentes disulfuro, enlaces covalentes entre las cadenas de proteína. El amasado debe ser lo suficientemente extenso como para lograr el máximo desarrollo del gluten, y debe finalizar antes de que la masa pierda consistencia debido al exceso de trabajo mecánico. Si así ocurriera, la masa pierde irreversiblemente su capacidad de retención de gas y se torna impanificable (Mohan y col. 2001).

#### Efecto de la temperatura en el amasado

La temperatura de la masa al final del amasado juega un papel importante tanto en el equilibrio y en la fuerza de las masas como en la fermentación. Es indispensable conducir la masa, al final del amasado a la temperatura ideal, que puede oscilar entre 22° y 27° C, dependiendo del grado de mecanización siendo lo óptimo 22°C en los procesos más mecanizados, y los 27°C en los procesos más artesanos (Flecha, 2015).

La temperatura de la masa puede influir en dos formas sobre la fuerza de la misma. A partir de 25°C va aumentando proporcionalmente la fuerza y la tenacidad, favoreciendo la marcha de la fermentación. Por el contrario, con temperaturas inferiores a los 25°C aumenta la extensibilidad, frena la fermentación y disminuye la fuerza, de tal forma que si la temperatura es extremadamente baja producirá en la masa una gran debilidad lo que provocará ampollas (burbujas en la corteza de los panes) (Flecha, 2015).

#### Velocidad del amasado

- Amasado lento: Tiene como objetivo mezclar todos los componentes de la masa, a excepción de la levadura, que será perfectamente incorporada cuando falten 5 minutos para la finalización del amasado. El agua incorporada es absorbida en gran medida por



el almidón y por las proteínas insolubles. Estas últimas empiezan a formar el gluten de la masa. El resto del agua, también llamado agua libre, se encarga de disolver los ingredientes solubles de la masa (sal, compuestos de la harina, etc.) (Flecha, 2015).

- Amasado rápido: Se realiza a marcha rápida y su duración depende de multitud de factores. En esta fase del amasado se produce la máxima aireación de la masa, que capta oxígeno del aire que posteriormente será consumido por la levadura. Esta aireación, debida al enérgico trabajo de la amasadora, contribuye decisivamente a la oxidación (captación y fijación del oxígeno) de las proteínas insolubles y consecuentemente de la formación de la red del gluten (Flecha, 2015).

### **División y Pesado**

Su objetivo es dar a las piezas el peso justo. Si se trata de piezas grandes se suelen pesar a mano. Si se trata de piezas pequeñas se puede utilizar una divisora hidráulica, pesando a mano un fragmento de masa múltiplo del número de piezas que da la divisora (Mesas y Alegre, 2002).

#### Efectos adversos de la división de la masa

Mientras la densidad de la masa se conserva constante, como el volumen en la misma, las piezas tendrán el mismo peso. Como la masa continúa fermentando, dando lugar a la producción de gas, origina una densidad menor a medida que se prolonga la división, produciéndose un ligero descenso de las piezas, aumentando este peso cuando se empieza a dividir un nuevo amasijo. Si las masas son pequeñas y la operación de dividir se hace rápida, las variaciones de pesos de las piezas quedan dentro de los límites tolerables. Cuando hay avería y la divisora se para, aunque sea por pocos minutos, o la cantidad de masa a dividir es muy grande, la variación en la densidad de la masa da diferencia en el peso de los panes.

Por esto es conveniente disponer de una balanza cerca de la divisora para comprobar el peso. La división volumétrica de la masa afecta a la red glutinosa de la misma volviéndola excesivamente tenaz, es posible paliar dicho efecto incorporando a la masa mayores cantidades de emulgentes (Lecitina, E-472e) para que actúen en la masa como un lubricante, aumentará ligeramente su extensibilidad y permitirá soportar mejor las presiones que sobre ella ejerce la división (Flecha, 2015).

## **Fermentación**

Consiste básicamente en una fermentación alcohólica llevada a cabo por levaduras que transforman los azúcares fermentables en etanol, CO<sub>2</sub> y algunos productos secundarios. Los objetivos de la fermentación son la formación de CO<sub>2</sub>, para que al ser retenido por la masa ésta se esponje, y mejorar el sabor del pan como consecuencia de las transformaciones que sufren los componentes de la harina. En un sentido amplio la fermentación se produce durante todo el tiempo que transcurre desde que se han mezclado todos los ingredientes (amasado) hasta que la masa ya dentro del horno alcanza unos 50°C en su interior (Mesas y Alegre, 2002).

### Fases de la fermentación

- Prefermentación: correspondiente a la elaboración de la masa madre o de la esponja en los métodos indirectos.
- Fermentación en masa: es el periodo de reposo que se da a la masa desde que finaliza el amasado hasta que la masa se divide en piezas.
- Fermentación final o fermentación en piezas: es el periodo de reposo que se da a las piezas individuales desde que se practicó el formado hasta que se inicia el horneado del pan. Esta fase suele realizarse en cámaras de fermentación climatizadas a 30 °C y 75% de humedad durante 60 a 90 minutos, aunque los tres parámetros pueden variar según las necesidades del panadero.

La velocidad con que ocurren estos procesos es ajustable de acuerdo a la temperatura elegida y la dosis de levadura empleada, aunque estos parámetros tienen su rango óptimo de aplicación, dependiendo de la modalidad de elaboración.

Diversos parámetros de calidad de la harina repercuten en una buena fermentación: un índice de caída no excesivamente bajo (por encima de 250 a 300 s) y un porcentaje de almidón dañado que no supere el 5% representan condiciones óptimas de la harina que producirán una buena fermentación.

Las propiedades reológicas de la masa se modifican durante esta etapa, tendiendo hacia un aumento de la tenacidad. Así, el valor de la relación de equilibrio P/L de la harina es determinante del comportamiento de la masa en esta etapa y también la siguiente (Mohan y col. 2001).

### Importancia del gluten durante la fermentación

El componente de la masa que más cambios experimenta es sin duda alguna el gluten. El gluten desarrolla un papel fundamental durante la fermentación ya que contribuye directamente a la retención de los gases generados por la levadura durante dicha fase. A la vez el gluten debe ceder al impulso de ese mismo gas sin presentar roturas ni desgasificaciones. Ello desencadena un aumento de volumen en la masa. La cantidad óptima de proteína que debe contener la harina para posteriormente poder formar gluten debe girar en torno al 10-12%. Igualmente, la calidad de esta proteína será tanto o más importante que su cantidad. Un gluten de calidad y en cantidad suficiente ofrece una buena retención gaseosa a la vez que cede al impulso de ese mismo gas carbónico, dando panes de buen volumen, ligeros, con una miga bien cocida y alveolada y con una greña uniforme y seguida. Un gluten de mala calidad puede ser aquel incapaz de retener los gases de la fermentación o por otra parte puede ser aquel incapaz de ceder al impulso de esos mismos gases. El primer caso provoca una pérdida de volumen en los panes pudiendo en caso de gluten extremadamente poroso y extensible dar panes planos pesados, con greña desgarrada y cortes hundidos. El segundo caso presenta un gluten excesivamente tenaz los panes serán igualmente pequeños y pesados (Flecha, 2015).

### **Rolado/Prensado/Formado**

En la mayoría de los panes, el corte de pan se efectúa cuando la masa esta ya fermentada y justo en el momento previo de entrar los panes en el horno.

El objetivo del corte es facilitar la salida de gas carbónico del interior de la masa durante los primeros minutos de cocción. Durante la expansión de gas carbónico por efecto de la presión y del trabajo acelerado de la levadura, dicho gas encuentra un punto de debilidad por el que salir hacia el exterior. Si no se realiza el corte, este punto de debilidad lo encuentra en la ligada creada durante el formado o en los laterales de los panes, ya que es allí donde el gas carbónico ejerce más presión y donde la masa presenta más fragilidad (Flecha, 2015).

## **Horneado**

Su objetivo es la transformación de la masa fermentada en pan, se realiza en hornos a temperaturas que van desde los 220 a los 260 °C, aunque el interior de la masa nunca llega a rebasar los 100 °C (Mesas y Alegre, 2002). Durante el horneado ocurren diferentes eventos físico-químicos que determinan las cualidades definitivas del producto. Entre ellos están los siguientes:

- Incremento de la velocidad de fermentación.
- Aumento de volumen de la pieza (por aumento del volumen de gas producido o por dilatación de los alveolos de gas).
- Muerte de las levaduras, evaporación del etanol y parte de otras sustancias volátiles.
- Evaporación de agua.
- Inactivación progresiva de los sistemas enzimáticos.
- Gelatinización del almidón.
- Coagulación de las proteínas.
- Pardeamiento por caramelización de azúcares.
- Formación de dextrinas a partir del almidón.
- Pardeamiento por reacción de Maillard entre proteínas y azúcares reductores.

(Mohan y col. 2001).

### Etapas en el horneado

- PRIMERA ETAPA

Diferencia de la temperatura de la masa 26-28° C y la del horno 200-260°C y la buena conductividad de la masa debido a su riqueza acuosa frena la elevación de la temperatura en la superficie de la masa le protege del calor y facilita su desarrollo. Simultáneamente se manifiesta un periodo de fermentación intensa que lleva consigo una aceleración de la producción de gas carbónico seguida de una fuerte dilatación y todo ello combinado engendra el empuje gaseoso que provoca un desarrollo espectacular de la masa. Esta acción se desarrolla hasta que, bajo los efectos del calor, la temperatura interna de la masa alcanza 50-60° C de temperatura donde las levaduras son destruidas. Entonces se llega al final de la producción de gas carbónico de esta primera etapa (Flecha, 2015).

- SEGUNDA ETAPA

La masa aún plástica bajo el empuje combinado del vapor de agua que nace y de la dilatación del gas carbónico que se amplifica continúa desarrollándose todavía. Pero simultáneamente el aumento de temperatura progresa hacia el centro y la gelificación del almidón, así como la coagulación del gluten va a marcar a partir de 70° C el fin de la plasticidad de la masa y de su desarrollo. De este modo se llega al final de la segunda etapa. El pan ha alcanzado entonces su volumen definitivo (Flecha, 2015).

- TERCERA ETAPA

La fuerte evaporación de la pared externa disminuye en tanto que su temperatura aumenta. La corteza se forma, se espesa y la caramelización de los azúcares residuales presente en la masa provoca su coloración. Cabe subrayar por último que la temperatura interior de los panes durante la cocción alcanza a duras penas y no sobrepasa prácticamente los 100° C en tanto que la temperatura exterior de la corteza soporta un calor medio de 225° C (Flecha, 2015).

## **1.2 Almidón**

Es el hidrato de carbono más importante de todos los cereales, es el constituyente de reserva y se concentra en el endospermo. Se presenta en forma de gránulos simples en el trigo, maíz, centeno, cebada y sorgo (Gil, 2010).

Es un importante constituyente de muchos alimentos, este se utiliza como agente espesante y ayuda a obtener la consistencia deseada en productos como budines, salsas, rellenos y otros alimentos. En términos de cantidad, es el principal constituyente de la harina por lo que es importante en productos harinosos como bollos, panqués y en pasteles (Argel, 2013).

Es un homopolisacárido de glucosa formado por una mezcla de dos polímeros, amilosa (que es cristalina) y amilopectina (considerada como amorfa) (Gil, 2010). La longitud de las cadenas de glucano, proporción de amilosa-amilopectina y el grado de ramificación de esta última define drásticamente el tamaño, estructura del gránulo y utilidad del almidón particular de cada especie.

## Gránulos de almidón

Los gránulos de almidón se producen en diversos tamaños y formas (esferas, elipsoides, polígonos, túbulos irregulares, etc.). Su estructura rígida se forma por capas concéntricas de amilosa y amilopectina distribuidas radialmente. La mayoría están formados por la alternancia de estructuras cristalinas y amorfas, estas estructuras se denominan "anillos de crecimiento" (Argel, 2013). En la primera se localizan moléculas de amilosa ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrógeno, las zonas amorfas están compuestas principalmente por la amilopectina, que no tiene posibilidad de asociarse entre sí o con la amilosa (García, 2009).

### **1.2.1 Fuentes alimentarias**

El almidón es la forma en que se almacena la glucosa de los vegetales. Puede ser aislado de diferentes plantas, como los granos de cereales, tubérculos y raíces, frutas y semillas (Argel, 2013). En la tabla 1 se muestran algunos ejemplos de alimentos ricos en almidón.

**Tabla 1.** Alimentos ricos en almidón.

<b>Cereales</b>	<b>Tubérculos</b>	<b>Frutas</b>	<b>Semillas</b>
Maíz	Papa	Plátano	Frijoles
Trigo	Yuca	Mango	Guisantes
Arroz	Malanga		Lentejas
Amaranto	Camote		
Cebada	Ñame		
Centeno	Sagú		
Sorgo			

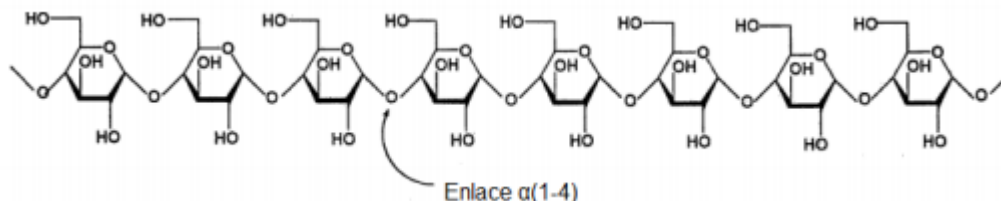
Fuente: Argel, 2013; González, 2012

### 1.2.2 Estructura del almidón y sus propiedades

En términos generales los almidones contienen aproximadamente 17-27% de amilosa y el resto de amilopectina 73-83% (Borries, 2014). Aunque existen almidones con hasta 99% de amilopectina denominados cerosos o almidones con mayor contenido de amilosa hasta de 70 % (Argel, 2013).

#### Amilosa

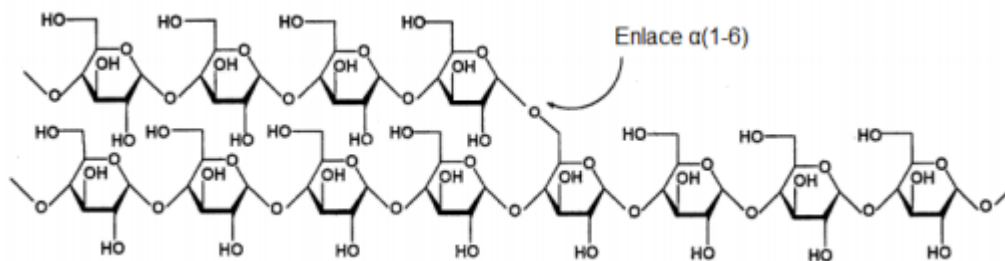
Se compone de cadenas largas y posee muchas de las propiedades de un polímero lineal enlazado por uniones  $\alpha$ -D-(1-4)-glucosídicas (Gil, 2010) cuya unidad repetitiva es la  $\alpha$ -maltosa como se observa en la Figura 2. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa (Badui, 2006). En el interior de esta forma helicoidal se encuentran ubicados solo átomos de hidrogeno lo que le confiere propiedades hidrofóbicas, este sitio permite que ahí se puedan formar complejos con sustancias de carácter hidrofóbico tales como ácidos grasos libres, componentes de glicéridos, yodo y alcoholes. La formación de estos complejos está en función de varios factores como el pH, temperatura, tiempo de contacto entre los elementos, así como la estructura de la molécula a ser hospedada en el complejo (García, 2009). Pero no todas las moléculas de amilosa son lineales, muchas moléculas de amilosa no pueden ser completamente hidrolizadas por  $\alpha$ -amilasa, esta hidrólisis incompleta se cree que es por la ramificación de algunas moléculas, si bien las ramificaciones no son de la misma magnitud que en la amilopectina (Borries, 2014).



**Figura 2.** Estructura química de la amilosa.  
Fuente: Borries, 2014.

## Amilopectina

Es un polímero de alto peso molecular que se compone de un gran número de cadenas más cortas y es altamente ramificado, está formada por unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4) y ramificadas en la posición  $\alpha$  (1-6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa como se muestra en la Figura 3. Es más estable que la amilosa, debido a sus limitados enlaces de hidrogeno, que le confieren fluidez, alta viscosidad y elasticidad. La distribución polimodal de cadenas de glucanos de diferentes longitudes y el agrupamiento de puntos de ramificación dentro de la amilopectina permiten la formación de cadenas de doble hélice, que pueden empaquetarse en arreglos organizados para formar la estructura semicristalina de la matriz del gránulo en las que se alternan regiones de material amorfo (amilasa) y semicristalino (amilopectina). La amilopectina contiene alrededor de 5% de puntos de ramificación, los cuales, comparados con la amilosa, le imparten profundas diferencias en propiedades físicas y biológicas (Borries, 2014).



**Figura 3.** Estructura química de la amilopectina.  
Fuente: Borries, 2014.

## Propiedades

Sus propiedades funcionales dependen del peso molecular promedio de la amilosa y la amilopectina, así como de la organización molecular de estos glucanos dentro del gránulo. Los almidones nativos se utilizan porque regulan y estabilizan la textura y por sus propiedades espesantes y gelificantes (Bello y col. 2002). Durante el tratamiento hidrotérmico, el almidón sufre una serie de modificaciones que afectan su estructura. Este comportamiento específico para cada tipo de almidón, se denomina propiedad funcional. La mayor parte de estas muestran su influencia sobre las características sensoriales de los alimentos, en particular la textura y además juegan un papel importante en el comportamiento de los alimentos o de los ingredientes alimenticios durante su



transformación o su almacenamiento (Barrera y col. 2004). En la tabla 2 se muestran las propiedades fisicoquímicas del almidón.

**Tabla 2.** *Propiedades fisicoquímicas del almidón.*

<b>Propiedad</b>	<b>Amilosa</b>	<b>Amilopectina</b>
Disolución en solución	Inestable	Estable
Geles	Firme e irreversible	Suave y reversible
Formación de complejos	Favorable	Desfavorable
Susceptibilidad de retrogradación	Grande	Pequeña

Fuente: Borries, 2014

### **1.2.3 Gelatinización y retrogradación del almidón**

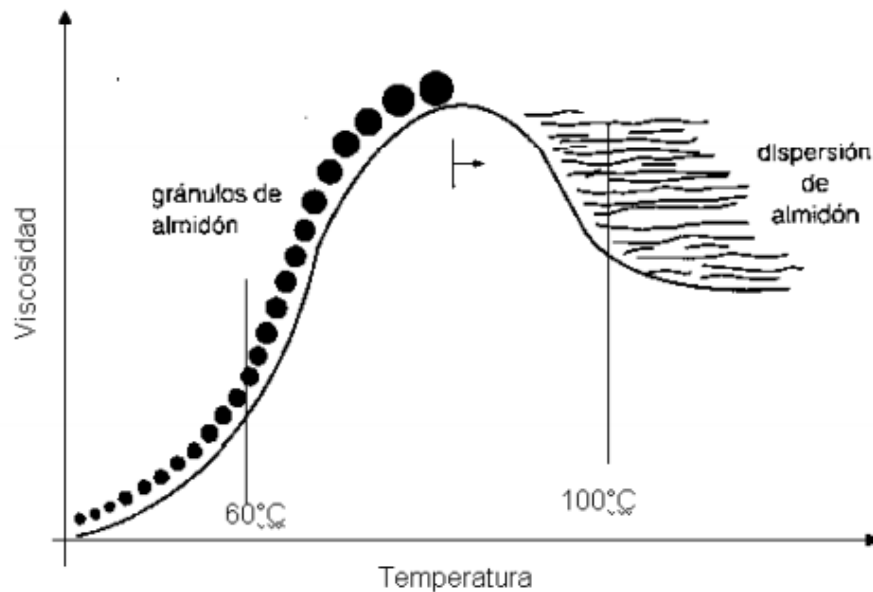
#### **Gelatinización**

Cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de agua tienden a romperse las uniones intermoleculares, se reducen las regiones cristalinas (pérdida de birrefringencia) y aumentan los puentes de hidrogeno (Rodríguez, 2008). Es una transición de un estado ordenado a otro desordenado en el que se absorbe calor. Es decir, la gelatinización transforma los gránulos de almidón insolubles en una solución de las moléculas constituyentes en forma individual (Badui, 2006).

Como se mencionó anteriormente los gránulos de almidón son insolubles en agua fría debido a que su estructura está altamente organizada y presentan gran estabilidad por las interacciones entre polisacáridos constituyentes, pero cuando se calientan empiezan un proceso lento de absorción de agua en las zonas amorfas que están menos organizadas y son más susceptibles que las zonas cristalinas, más rígidas. A medida que se aumenta la temperatura, el gránulo retiene más agua y comienza a hincharse, cuando la parte amorfa se ha hidratado, la cristalina empieza a hacerlo de manera similar (Borries, 2014).

Cuando la temperatura llega a 60-70°C los gránulos insolubles rompen sus puentes de hidrogeno y existe una mayor absorción de agua, resultando la pérdida de organización molecular. Alrededor de los 70°C la amilosa comienza a salir del gránulo formando una

dispersión coloidal y se abre la superficie. Finalmente, a los 90°C con el grado óptimo de gelatinización se alcanza el pico máximo de viscosidad como se observa en la Figura 4, siguiendo una solubilización más o menos completa (30-60%) (Borries, 2014). Esta temperatura es en realidad un intervalo, ya que los gránulos tienen diferente composición y grado de cristalinidad, aunque provengan de la misma fuente botánica, lo que provoca que unos sean más resistentes que otros. Por esta razón se llega a presentar una diferencia de 8 a 12°C entre la temperatura de gelatinización de los primeros gránulos y de los últimos. Este parámetro se ve afectado por la presencia de diversos compuestos químicos que favorecen o inhiben los puentes de hidrogeno (Valdés, 2006).



**Figura 4.** Gelatinización del almidón.

Fuente: Valdés, 2006.

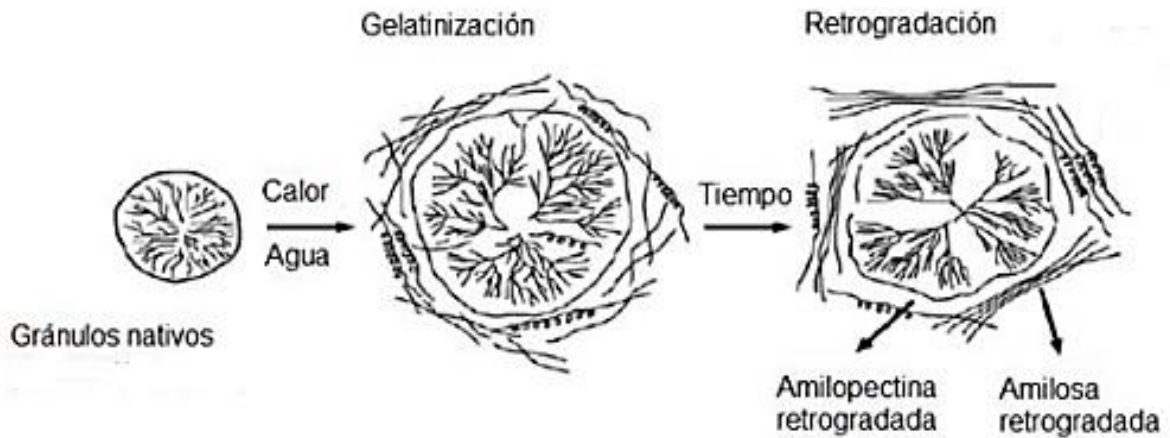
Cabe mencionar que la cantidad de agua que absorben los diferentes almidones varía, pero se puede considerar que va de 40 a 55 gramos de agua por cada 100 gramos de sólido, además, es importante decir que los almidones modificados tienen una capacidad de hinchamiento diferente a la que presentan de manera natural. Se ha encontrado que las propiedades funcionales de los almidones se modifican radicalmente dependiendo de si se emplean solos o con otros hidrocoloides, ya que se pueden obtener reacciones sinérgicas (Valdés, 2006).

## **Retrogradación**

Este fenómeno se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos; esto se puede efectuar por diversas rutas, según la concentración y la temperatura del sistema (Valdés, 2006).

Los cambios señalados juegan un papel muy importante en la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, lo cual se relaciona con su contenido de amilosa, ya que es más difícil que la amilopectina la desarrolle, debido a que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrogeno entre moléculas adyacentes (García, 2009). Otra de las variables de las que depende la velocidad de retrogradación es la presencia de otros agentes como surfactantes y sales (Borries, 2014).

Las fracciones de amilosa o las secciones lineales de amilopectina que retrogradan, forman zonas con una organización cristalina muy rígida que, para romperse y permitir la gelatinización del almidón, requieren alta energía, el fenómeno de retrogradación se relaciona directamente con el envejecimiento del pan. Durante el cocimiento del pan, parte de la amilosa se difunde fuera del gránulo y retrograda en el momento de su enfriamiento, de manera que los restos de gránulos (ahora ricos en amilopectina) se ven rodeados por moléculas del polímero lineal; se considera que el envejecimiento se debe básicamente a la asociación de las cadenas de amilopectina que permanecen en el gránulo hinchado después de haber perdido parte de la amilosa. En el pan fresco, el polímero ramificado tiene todas sus ramas completamente extendidas, mientras que en el pan duro están retrogradadas, unidas entre sí y sin el agua original (Valdés, 2006). En la Figura 5 se observa el proceso completo del calentamiento y enfriamiento del almidón, donde la retrogradación incluye asociaciones entre moléculas de amilosa y amilopectina.



**Figura 5.** Proceso de calentamiento y enfriamiento del almidón.  
Fuente: Borries, 2014.

### **1.3. Funcionalidad del almidón en el proceso de panificación**

En la panificación el almidón es el principal componente y desempeña un papel importante en la textura y calidad tanto de la masa como del pan. Todos los procesos conducentes a la elaboración de pan o productos panificados leudados biológicamente requieren tanto de la combinación de harina con otros ingredientes en la masa como de modificar sus propiedades físicas para optimizar la retención del gas durante la fermentación y la expansión del mismo durante el horneado (Bedolla, 2004).

Se sabe que, en una masa elaborada a partir de harina de trigo, contiene alrededor de un 12% de proteínas (de las que aproximadamente un 80% son proteínas de gluten), un 70% de almidón (amilosa/amilopectina= 1/3) y un 2% de lípidos (Matos y Payehuanca, 2011). Puede existir también un contenido variable de fibra en función de si se trata de una harina más o menos refinada y que además contiene numerosos minerales (Vázquez y col, 2005). Al añadir agua a la harina, se forma una masa por hidratación de las proteínas del gluten, pero parte del agua es retenida también por gránulos de almidón dañado. Durante el amasado todos estos componentes quedan integrados, formando una matriz compleja de almidón-proteína-lípidos (Matos y Payehuanca, 2011).

Durante un periodo de reposo (fermentación) las levaduras transforman parte del almidón en hidratos de carbono simples, en CO<sub>2</sub> y en etanol (Rodríguez, 2008). Es decir, los azúcares nativos de la harina son el sustrato para la fermentación durante la primera hora.

Cuando estos se han agotado, el sistema enzimático de la levadura comienza su actividad, fermentando la maltosa producida por la acción hidrolítica de las amilasas sobre los gránulos de almidón dañado, presentes en la harina. Posteriormente numerosos productos metabólicos son secretados por la levadura en la fase acuosa de la esponja durante la fermentación, tales como alcoholes, CO<sub>2</sub>, ácidos orgánicos, aldehídos, etc. (Bedolla, 2004).

Otras reacciones contribuyen a la suavidad que incluyen la acción de proteasas y amilasas sobre sustratos específicos. Durante esta fermentación, se desarrolla un complejo lipoproteico (gluten) en el cual los gránulos de almidón quedan embebidos; dicho complejo es capaz de retener el gas (Bedolla, 2004).

Posteriormente en el horneado se evapora progresivamente el agua del interior de la masa, así como el etanol y el almidón se gelatiniza (Rodríguez, 2008). Durante este tiempo, un cambio tiene lugar en la estructura celular, inicialmente compuesta por células continuas de gas cambia a una porosa. Esta transformación puede deberse tanto a la acción de las amilasas sobre el almidón en las paredes de las células como a la ruptura física de algunas paredes celulares consecuencia de la expansión térmica. Aproximadamente a los 60°C, es cuando los gránulos de almidón comienzan a hincharse; este fenómeno está limitado por el contenido de humedad. Se considera que el almidón continúa tomando agua del gluten, ayudando a soportar la estructura del pan hasta que el gluten se desnaturaliza. Cuando los gránulos de almidón comienzan a hincharse, se hacen muy vulnerables al ataque de las amilasas. Las  $\alpha$ -amilasas se separan al azar de las cadenas de amilosa y amilopectina, reduciendo la viscosidad de la masa, mientras que la  $\beta$ -amilasas liberan maltosa a partir del almidón. La acción de ambas enzimas da como resultado la modificación del almidón que indudablemente tiene gran influencia sobre la miga del pan horneado. La inactivación térmica de las  $\alpha$ -amilasas tiene lugar entre los 70°C a 85°C (Bedolla, 2004).

Por lo anterior se puede resumir que: son los enzimas amiláceos los encargados de abastecer a la levadura de azúcares fermentables provenientes de la degradación del almidón (que es fuertemente hidrolizado durante la fase de gelatinización). Pues bien, esta reacción enzimática se acelera con el gradual aumento de la temperatura sufrido por la masa al inicio de la cocción. Produciéndose una reacción de sinergia entre el aporte de azúcares por las enzimas y el consumo de estos mismos azúcares por parte de la levadura (Flecha, 2015).

En la siguiente lista se muestran las funciones específicas que ejerce el almidón en la elaboración de un producto panificado:

- Por la transformación que sufre el almidón debido a un aumento progresivo de temperatura tiene gran influencia en la formación del alveolo de la miga del pan.
- La hidratación sufrida por el gluten y el almidón proporcionan la blandura necesaria del producto cocido.
- Por el aumento de la temperatura que va progresando hacia el centro de la masa y la gelificación del almidón, así como la coagulación del gluten se da la plasticidad de la masa y su desarrollo. De este modo el pan alcanza entonces su volumen definitivo.
- La presencia en la harina de una cantidad apropiada de almidones dañados conlleva una mejor absorción de agua por parte de ellos durante el amasado. Es necesario apuntar que una cantidad excesiva de estos almidones pueden tener fatales consecuencias en la calidad del pan y, cómo no, también en su conservación.
- Durante el horneado el almidón, existente en la harina como constituyente principal, se hidroliza parcialmente transformándose en dextrina, que es un polisacárido de menor peso molecular que el almidón y más fácilmente asimilable por el organismo.

(Flecha, 2015)

#### **1.4. Almidones Modificados**

En la industria de alimentos, el almidón se puede considerar como el principal componente de muchas formulaciones alimenticias y es responsable de muchas propiedades funcionales y características nutricionales (Borries, 2014). Estas propiedades funcionales varían en función de la cantidad y conformación de las moléculas de amilosa y amilopectina, la estructura granular, así como otros constituyentes menores (Ramos y col., 2018).

Se sabe que los almidones nativos son inadecuados para la mayoría de las aplicaciones ya que presentan muchos inconvenientes como son: la baja solubilidad en agua fría, la pérdida de viscosidad y poder espesante después de la cocción. Por lo que actualmente se han desarrollado almidones modificados. Dicha modificación que puede ser química o física sirve para mejorar sus atributos positivos o minimizar sus defectos (Argel, 2013). Por tanto, los almidones modificados presentan más propiedades funcionales que los naturales, por lo que generalmente se emplean más en la industria; estos productos pueden ser agentes

estabilizadores, emulsionantes, humectantes, espesantes, etc. Es decir, se puede contar con un almidón modificado casi para cada necesidad (Badui, 2006).

Como se mencionó, se alteran las propiedades del almidón, incluyendo viscosidad de la solución, el comportamiento de la asociación, la estabilidad y vida útil de los productos finales. Permitiendo que el almidón mantenga el aspecto y la textura deseable a pesar de las tensiones durante el procesamiento y distribución de alimentos (Argel, 2013). Convirtiéndolos en una fuente que satisface aspectos de disponibilidad, biocompatibilidad, comestibilidad y propiedades funcionales, asegurando la calidad de los alimentos perecederos (Ramos y col., 2018).

La disponibilidad del almidón y la economía juegan un papel importante en la selección de un almidón nativo que sea modificado posteriormente. Los almidones que se usan para ser modificados para uso comercial son los procedentes del maíz normal, tapioca, maíz ceroso, papa y trigo que son los más disponibles y accesibles, aunque las variedades de arroz, avena, cebada, centeno, amaranto y algunos otros almidones exóticos y criollos se pueden utilizar como fuentes comerciales dependiendo de las zonas en las que se producen (FAO, 1999).

Por lo anterior podemos definir a los almidones modificados como:

- ✓ Almidones cuya estructura química se ha modificado a fin de conferirles propiedades funcionales que de otra manera no tienen (Delgado, 2018).
- ✓ Son aquellos cuyas propiedades se han mejorado a fin de adaptarlos a las necesidades tecnológicas del procesado de alimentos (Barthelemy, 2013).

#### ***1.4.1 Tipos y Métodos de modificación***

Para aislar el almidón se emplean una variedad de procesos. Un proceso muy utilizado es la molienda húmeda en la que se separa el almidón de la fibra, proteína y otros componentes esto con el objetivo de recuperar el almidón insoluble en buen estado. En esta forma se conoce como almidón nativo. Puede ser lavado y secado para un procesamiento futuro (Argel, 2013).

Hoy en día existen diferentes procesos para modificar los almidones, un resumen de los mismos se presenta en la tabla 3.

**Tabla 3.** Tipos de modificaciones del almidón nativo.

<b>Almidón nativo</b>		
<b>Modificación Física</b>	<b>Modificación Química</b>	<b>Modificación enzimática</b>
Hidrolizados	Enlaces entrecruzados	Hidrólisis (Glucosa, Dextrinas)
Pregelatinizados	Oxidación	
	Hidroxipropilados	
	Esterificación y Eterificación	

Fuente: Cano, 2008; Carmona y Paternina, 2007.

### Modificación Física

Una variedad de tratamientos físicos se utiliza para alterar los almidones de alimentos, incluyendo el calor, con o sin humedad, la radiación y el tratamiento mecánico. Estos tratamientos ofrecen un procesamiento mejorado o una mejor textura y estabilidad. Por otra parte, la modificación física puede ser utilizada en combinación con la modificación química para un rendimiento global máximo (Argel, 2013).

#### **Hidrolizados**

Los almidones llamados hidrolizados (fluidizados) se logran calentando una suspensión de almidón al 40% de sólidos a <math>55^{\circ}\text{C}</math> en presencia de HCl o de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1N durante un tiempo que puede variar entre 10 y 20 horas para lograr la viscosidad deseada. Como no se alcanza la temperatura de gelatinización, el ácido sólo hidroliza las regiones amorfas del gránulo y muy poco o nada las cristalinas, por lo que la amilopectina es la más afectada; después se neutraliza con NaOH, se filtra, lava y se seca. Este tipo de almidones forman pastas que, en caliente, tienen poca viscosidad, y sus geles son débiles (Badui, 2006). Se obtienen geles más firmes a menores temperaturas. Producen modificaciones superficiales, con gránulos de estructura debilitada.

#### **Pregelatinización**

Consiste en cocer y gelatinizar el almidón, haciéndolo pasar por unos rodillos calientes para después secarlo; el producto se hincha rápidamente en agua fría y forma una pasta estable. Se busca disociar o fragmentar físicamente el gránulo de almidón por medio de un tratamiento con calor mínimo. Este proceso se utiliza para producir almidones solubles en frío, que espesan el material o alimento cuando se añade agua fría o templada, proporcionando una excelente textura a alimentos procesados en frío o instantáneos y



también se usa para mantener la estructura granular del almidón, reduciendo la tendencia de formar grumos (Torres, 2007). Es una simultánea gelatinización y secado de la dispersión de almidón acuoso. Es un buen agente espesante y se emplea en alimentos cuyo consumo no requiere calentamiento. Este método normalmente se emplea en forma conjunta con otro de naturaleza química para obtener los beneficios de ambos (Badui, 2006).

### Modificación Química

Entre los diferentes tipos de modificación del almidón, la modificación química es la vía más común para obtener almidones con características deseables para la aplicación industrial. En general, esta modificación redundante en una mayor estabilidad molecular al cizallamiento mecánico y a la hidrólisis ácida y térmica, se puede modular la viscosidad de las pastas y, entre otros beneficios, se reduce la tasa de retrogradación respecto de la del almidón nativo (Tupa, 2019).

Las modificaciones químicas pueden llevarse a cabo de tres diferentes maneras:

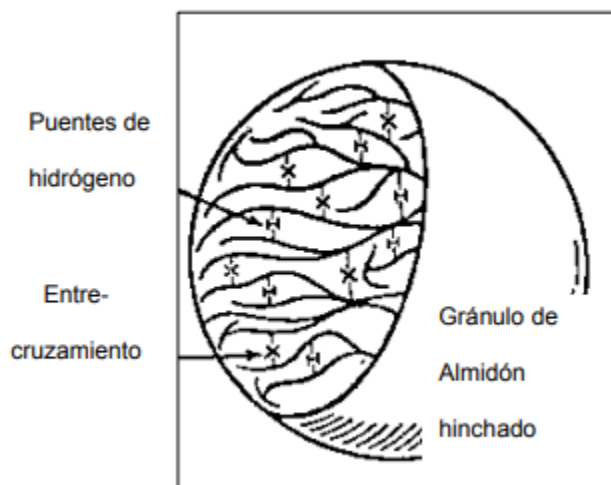
- En suspensión: El almidón es suspendido en agua, la reacción química se lleva a cabo en un medio acuoso hasta obtener las propiedades requeridas. Posteriormente la suspensión se filtra, lava y se deja secar a temperatura ambiente.
- En pasta: El almidón es gelatinizado con reactantes químicos en pequeñas cantidades de agua; la pasta se agita, y cuando la reacción se termina, el almidón se deja secar a temperatura ambiente.
- En estado sólido: El almidón es humectado con reactantes químicos en soluciones acuosa, se deja secar, y finalmente se hace reaccionar a una alta temperatura.

(Rodríguez, 2008)

### **Enlaces entrecruzados**

El entrecruzamiento químico del almidón involucra la formación de enlaces covalentes entre los grupos hidroxilo del almidón y compuestos multifuncionales que actúan como puentes intermoleculares para generar una molécula más grande, más estable y de gran resistencia, como se observa en la Figura 6. Se producen generalmente cuando los gránulos nativos se dispersan en sistemas acuosos (en medios alcalinos y bajo condiciones adecuadas) con reactivos capaces de reaccionar con al menos dos de los grupos hidroxilo de moléculas vecinas, es decir, este enlace intermolecular refuerza el enlace al hidrogeno producido en

el gránulo. Aumentando así la temperatura de gelatinización, mejora la estabilidad en medio ácido, la estabilidad al calor y la estabilidad al corte, controla la viscosidad durante la elaboración (FAO, 1999). El tipo de reactivo utilizado y las condiciones determinan la relación de enlaces de tipo mono- y di- causados por el mecanismo de reacción de entrecruzamiento y los hidroxilos de almidón disponibles. Los reactivos entrecruzantes más comúnmente empleados son el oxiclorigo de fósforo, el trimetafosfato de sodio y las mezclas de anhídrido adípico y anhídrido acético (Chávez, 2015). Más recientemente, se han utilizado ciertos ácidos orgánicos policarboxílicos como el ácido cítrico, el ácido málico y el ácido tartárico. Para llevar a cabo las reacciones de entrecruzamiento con estos compuestos orgánicos policarboxílicos, el almidón se pone en contacto con el agente entrecruzante en medio alcalino usando generalmente como catalizador hipofosfito de sodio.



**Figura 6.** Estructura de un gránulo de almidón con entrecruzamiento.  
Fuente: García, 2009.

El número de entrecruzamientos dependerá de la cantidad de fosfato con la cual se ha llevado a cabo la reacción. La capacidad del producto obtenido para absorber agua disminuirá conforme al incremento del número de entrecruzamientos (Martínez, 2007).

En general, el entrecruzamiento se lleva a cabo a temperaturas de entre 100 y 165 °C durante intervalos de 10 min y 5 h (Tupa, 2019).

## **Hidroxiopropilados**

La hidroxiopropilación del almidón es un proceso de esterificación logrado mediante el uso de óxido de propileno; es el resultado de la introducción de grupos hidroxipropilo en los polímeros de la cadena del almidón en las regiones amorfas, probablemente porque las regiones amorfas son más accesibles al reactivo de la modificación, sustituyendo el OH de los carbonos 2, 3 y 6 en la molécula anhidro glucosa. La introducción de grupos hidrófilos hidroxipropilos reduce la temperatura de gelatinización de los almidones. Además, la reacción se lleva a cabo bajo fuertes condiciones alcalinas. La reacción ha de ser llevada a cabo con una inhibición de la hinchazón con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  para prevenir la gelatinización del almidón (Enríquez, 2012).

## **Oxidación**

Los almidones en alimentos pueden ser modificados por agentes oxidantes bajo condiciones controladas. Dependiendo de la cantidad y tipo de reactivo utilizado, esta modificación es clasificada como blanqueamiento u oxidación (Martínez, 2007).

Este método se efectúa con diferentes agentes químicos, pero el más empleado es el hipoclorito de sodio. Este agente reacciona con los carbonos 2, 3 y 6 en un D-glucopiranosil, generalmente el 25% del reactivo actúa con los carbonos; mientras que el 75% restante oxida a los grupos hidroxilos (Torres, 2007). La oxidación de algunos OH se hace al azar y da lugar a grupos carboxilo, además de que existe cierto grado de hidrólisis. Debido a lo voluminoso de dichos grupos, se inhibe (por impedimentos estéricos) la unión de cadenas lineales y, por consiguiente, la retrogradación. Estos almidones adquieren una temperatura de gelatinización y viscosidad menor, pero esta última disminución se da rápidamente con el calentamiento y la agitación, generando unas pastas fluidas de gran transparencia (Badui, 2006).

Por lo tanto, el objetivo de esta modificación es introducir grupos carbonilo y carboxilo, produciendo simultáneamente reacciones de oxidación e hidrólisis que rompen los enlaces glucosídicos del almidón. Se ha observado que los grupos carboxílicos son responsables particularmente de la estabilidad en la viscosidad de la pasta, aumentando la claridad y reduciendo la retrogradación de las pastas de almidón cocidas. Proporcionando una menor viscosidad y una estabilidad a baja temperatura (Tupa, 2019).

Los almidones comerciales oxidados retienen su morfología granular original y son insolubles en agua fría. Estos almidones se caracterizan por un color más blanco con respecto al almidón nativo, una claridad de pasta mayor y una baja viscosidad que es estable durante el almacenamiento. El nivel relativo de estos grupos depende de las condiciones de reacción. En la industria alimentaria son ampliamente usados en empanizados de una gran variedad de alimentos como pollo y pescado, y en emulsiones de carnes y vegetales. Este tipo de almidones presentan buena adhesión al alimento y una textura crujiente después de freír (Martínez, 2007).

### **Esterificación y Eterificación**

La modificación se realiza empleando ácido acético y anhídrido acético o hidroxipropilo, obteniendo así resultados, como la reducción del inicio del punto del gel del almidón, modifica también las propiedades del gel del almidón y mejora el tiempo de conservación, mejora la resistencia a los ciclos de congelación-descongelación y la sinéresis, también mejora la calidad del gel de almidón (Torres, 2007).

#### Esterificación

Esta modificación se lleva a cabo usando diferentes tipos de acilantes como ácidos inorgánicos y orgánicos, anhídridos y cloruros de acilos, que reaccionan con los OH y forman uniones éster. Entre los más comunes están los derivados de fosfato que se producen por calentamiento de 55 a 60°C durante una hora y alcanzan un grado de sustitución. Este tipo de almidón tiene menor temperatura de gelatinización, se hidrata más fácilmente, sus pastas transparentes son viscosas y no presentan retrogradación; por su estabilidad a los ciclos de congelamiento-descongelamiento, se emplean en la elaboración de alimentos congelados (Badui, 2006). Un tipo de esterificación de almidón muy común es la acetilación, que implica la introducción de grupos acetilos (-COCH<sub>3</sub>) más hidrofóbicos a lo largo de la cadena del almidón. La incorporación de grupos acetilos disminuye o previene la retrogradación, al interrumpir la linealidad de la amilosa o segmentos de amilopectina (Montoya y col, 2015). En general la esterificación de los polisacáridos con ácidos orgánicos y derivados del ácido, es una de las transformaciones más versátiles de estos biopolímeros. La introducción de un grupo éster en el polisacárido constituye un desarrollo importante debido a que permitirá modificar la naturaleza hidrofílica y obtener cambios significativos en las propiedades mecánicas y térmicas. Los ésteres de almidón generalmente se preparan

por la reacción del almidón con donadores de acilo anhídridos o la reacción con acilos clorados y en presencia de solventes orgánicos (Chávez, 2015).

### Eterificación

Esta reacción se efectúa a 50°C con oxido de propileno, el cual forma enlace éter con los OH del almidón, y alcanza un grado de sustitución de 0.05 a 0.10; esto provoca una reducción en la temperatura de gelatinización y de la tendencia de las pastas a la retrogradación (Badui, 2006). El objetivo de esta modificación es insertar grupos hidrofílicos a las unidades de anhidro glucosa, a fin de estabilizar el almidón en medio acuoso y prevenir el fenómeno de retrogradación que sufren los mismos en solución a bajas temperaturas (Chávez, 2015).

### **Hidrolisis enzimática**

Modificación enzimática, implica la hidrólisis del almidón con enzimas de calidad alimenticia. Las enzimas involucradas alteran la estructura y alcanzan funcionalidades deseables de los productos hidrolizados (Tupa, 2015).

La hidrolisis enzimática puede ser considera como una de las técnicas para modificar el almidón por reducción de su peso molecular promedio. Los productos de la conversión enzimática del almidón van desde glucosa hasta dextrinas de alto peso molecular. En adición a la disminución del tamaño de la molécula y la viscosidad de la dispersión del almidón, el proceso de hidrolisis puede también modificar otras características de la dispersión de almidón. Ha sido mostrado que los gránulos de almidón crudo hidrolizan más lento que el almidón pregelatinizado, siendo este entonces el primer proceso de hidrólisis (Carmona y Paternina, 2007).

Existen cuatro grupos de enzimas utilizadas en la hidrólisis del almidón:

- Endoamilasas: Cortan enlaces glucosídicos  $\alpha$ ,1-4 en la zona interior de las cadenas de amilosa y amilopectina. Un ejemplo de estas son las  $\alpha$  -amilasas, cuyos productos son oligosacáridos de diversas longitudes y cadenas cortas ramificadas de residuos de amilopectina.
- Exoamilasas; Cortan enlaces glucosídicos  $\alpha$ , 1-4 o  $\alpha$ , 1-4 +  $\alpha$ , 1-6 de residuos de glucosa externos de la amilosa y amilopectina, un ejemplo de ellas es  $\beta$ -amilasa y

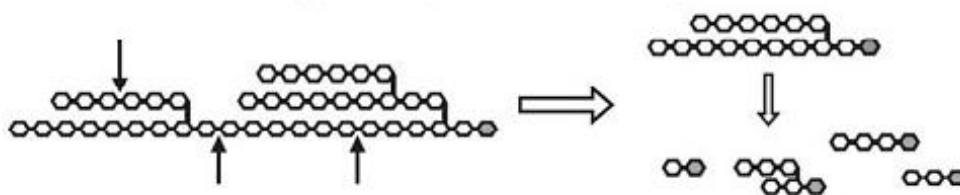
amiloglucosidasa=glucoamilasa,  $\alpha$ -glucosidasa, dando como productos glucosa, maltosa y residuos de amilopectina por acción de la  $\beta$ -amilasa.

- Enzimas desramificantes; Cortan enlaces glucosídicos  $\alpha$ , 1-6 de amilopectina, un ejemplo de ellas es la isoamilasa e isomaltasa, dando como producto un polisacárido lineal.
- Transferasas; Cortan enlaces glucosídicos  $\alpha$ , 1-4 de la molécula donante y transferencia de parte del donante a un receptor glucosídico, ejemplo de ellas son la amilomaltasa, ciclodextrina, glicosiltransferasa y enzimas ramificantes, dando como productos dextrinas altamente ramificadas. (Tupa, 2015).

La modificación enzimática del almidón puede ser llevada a cabo usando una o más de las enzimas descritas bajo condiciones apropiadas de temperatura y pH. Las condiciones óptimas de operación para una enzima en particular dependen de la fuente enzimática. Sin embargo, la hidrólisis enzimática de almidones en general es conducida a temperaturas relativamente bajas y a pH 4 - 5 donde se presenta la mayor estabilidad para reducir los azúcares. En función de las condiciones de hidrólisis se obtienen distintos productos con una determinada proporción de glucosa, lo que se cuantifica como equivalentes de dextrosa (Tupa, 2015).

Como ejemplo, la hidrólisis enzimática con  $\alpha$ -amilasa, causa modificaciones en la estructura del almidón, alterando sus propiedades de reagrupamiento, produciendo dextrinas que dificultan la reorganización de las moléculas de amilopectina durante el almacenamiento.

En la Figura 7, se representa esquemáticamente la acción de la  $\alpha$ -amilasa sobre los polímeros de almidón (amilopectina). El anillo gris representa el residuo de glucosa con extremo reductor libre. El resultado de la acción enzimática es la obtención de dextrinas lineales y/o ramificadas de bajo peso molecular.



**Figura 7.** Representación esquemática de la acción de la  $\alpha$ -amilasa sobre los polímeros de almidón.

Fuente: Sciarini, 2011.

### 1.4.2 Usos como aditivos

En la siguiente tabla se mencionan los usos y las funciones que se les da a los diferentes tipos de almidones modificados en la industria de alimentos como aditivos.

**Tabla 4.** Usos y funciones de los almidones modificados en la industria alimenticia.

<b>Almidón modificado</b>	<b>Uso / Función</b>
Hidrolizados	Se usan en la industria de caramelos cuando se desea lograr texturas gomosas (Badui, 2006).
Pregelatinizados	Aconsejado para diversos productos de preparación instantánea: salsas, crema pastelera, espumas, pastas para untar, etc. Los gránulos intactos, pero no gelatinizados son requeridos en muchas aplicaciones en alimentos debido a la conservación de sus propiedades reológicas (Borries, 2014).
Entrecruzados	<p>Se lleva a cabo para limitar la hinchazón de los gránulos de almidón en las condiciones de cocción o para evitar la gelatinización del almidón. El entrecruzamiento impide el rompimiento del gránulo de almidón y la pérdida de viscosidad bajo condiciones ácidas. Se emplea frecuentemente en combinación con otros métodos de modificación de almidón, como la hidrólisis y esterificación para proporcionar propiedades de textura adecuadas para aplicaciones en alimentos, por lo que se utilizan en ensaladas, alimentos enlatados, en sopas, salsas, alimentos infantiles, relleno de fruta, budín, y alimentos fritos (Argel, 2013).</p> <p>Las dispersiones de almidones fosfatados son muy estables al congelamiento. Después de varios ciclos congelamiento-descongelamiento, la pérdida de agua de las pastas de almidón es nula y la textura permanece suave y fluida. Algunos trabajos muestran que los almidones fosfatados presentan una mayor estabilidad a estos ciclos, comparados con otros almidones modificados. Debido a sus propiedades iónicas, los almidones fosfatados son buenos agentes emulsificantes. Sus dispersiones son compatibles con gelatinas, gomas vegetales, polivinilalcoholes y poliacrilatos. Las dispersiones de almidones que contienen fosfatos entrecruzados tienen una textura más tersa. Se ha demostrado que un almidón fosfatado con un bajo grado de sustitución es altamente soluble en agua, lo cual se puede atribuir a la mutua repulsión entre la carga negativa de los grupos fosfatos en la molécula de almidón, lo que puede reducir las fuerzas de atracción intermoleculares. Un aumento en el grado de sustitución disminuye la solubilidad, lo que puede deberse a la formación de ligaciones cruzadas entre los polímeros del almidón (Martínez, 2007).</p>

Continuación de **Tabla 4.**

	Presentan alta estabilidad a la agitación y al calentamiento, incluso en medio ácido, por lo que se emplean en alimentos que requieren esterilización o que tienen un pH bajo. No retrogradan ni gelifican y su sinéresis es mínima (Badui, 2006).
Hidroxipropilados	Mejoran la vida útil, la estabilidad congelamiento-descongelamiento, claridad y propiedades de textura en pastas (Borries, 2014).
Oxidados	Ha mostrado reducir el poder de hinchamiento, incrementar la solubilidad y disminuir la temperatura de empastamiento del almidón nativo. Mejora la adhesión de recubrimientos. Crea geles blandos y estables (Borries, 2014).
Eterificados	Mejora la resistencia al frío y a la congelación-descongelación para prolongar la vida útil. Se usa en salsas, relleno para pasteles hechos a base de frutas, aderezos. Son más estables a pH altos.
Esterificados	Su objetivo es proporcionar estabilidad a bajas temperaturas. Disminuir la temperatura de gelatinización. Mejora la resistencia al frío y a la congelación-descongelación para prolongar la vida útil. Los usos potenciales de los almidones esterificados están generalmente relacionados con el grado de sustitución alcanzado. Estos almidones se usan para mejorar la unión, el engrosamiento, la estabilidad y la textura de los alimentos (Chávez, 2015). Se usa en productos refrigerados y congelados, como emulsificante, estabilizante y para encapsular. Da bajas temperaturas de gelatinización y retrogradación, baja tendencia para formar geles y alta claridad en las pastas (Rodríguez, 2008).
Hidrólisis enzimática	Es utilizado en la fabricación de caramelos de goma, debido a la baja viscosidad frente a temperaturas altas que presentan las pastas cocidas de elevadas concentraciones, permitiendo el fácil manejo en caliente y formando un gel firme al enfriarse (Tupa, 2015).  Para producir derivados con buenas propiedades para su uso principalmente en el revestimiento de alimentos con colorantes. Los almidones modificados por vía enzimática presentan un grado de contaminación mínima. Estos almidones muestran mayor estabilidad a condiciones extremas de procesamiento, incrementan su resistencia a la retrogradación y mejoran la estabilidad durante el congelamiento (Montoya y col, 2015).



## **1.5 Otras aplicaciones**

Los almidones modificados, son desarrollados para ser aplicados a condiciones más exigentes de proceso como de temperatura, acidez, fuerza de cizalla, etc. Además, muchas empresas productoras de este tipo de almidones, hacen desarrollos de modificación ajustándose al requerimiento final del cliente no solo en productos de panificación sino también en productos lácteos, cárnicos y frutas.

### **1.5.1 Recubrimientos comestibles**

Los recubrimientos comestibles forman una capa delgada directamente sobre la superficie de los productos vegetales como una cubierta protectora. Son matrices continuas que pueden estar formuladas a base de lípidos, proteínas y carbohidratos. Los recubrimientos comestibles prolongan la calidad de los productos reduciendo sus procesos metabólicos vitales, además pueden utilizarse como vehículos de sustancias potencialmente activas que mejoran las propiedades nutricionales de los productos hortofrutícolas.

Existe un gran interés por la utilización de almidón para formular recubrimientos comestibles debido a la abundancia del producto y a su biodegradabilidad. Los recubrimientos a base de almidón son insípidos, inodoros y transparentes, por lo tanto, no producen cambios en el sabor, aroma o apariencia del alimento y además mejoran el brillo de los frutos, haciéndolos más atractivos para el consumidor. Los recubrimientos a base de almidón nativo presentan propiedades pobres de barrera a la humedad por su carácter hidrofílico y sus propiedades mecánicas pueden presentar limitaciones, debido a su semi cristalinidad y rápida retrogradación. Sin embargo, al modificar el almidón se mejoran las propiedades para determinadas aplicaciones. Al utilizar almidón modificado hace que sea más resistente a la humedad del medio ambiente y al crear nuevos enlaces promueve una mayor resistencia mecánica y mejora las propiedades de barrera a los gases prolongando la vida útil y retardando los procesos de senescencia en frutas y hortalizas de una manera más eficiente. Los recubrimientos de almidón modificado disminuyen la tasa de respiración, conservan por un tiempo prolongado las características nutricionales, disminuyen la pérdida de peso y mantienen la firmeza de los frutos. Los recubrimientos formulados con almidón modificado se convierten en una alternativa interesante, que permite mantener los atributos físicos, químicos y sensoriales de los productos agrícolas y prolongar su vida útil, reduciendo las pérdidas post cosecha. (Ramos y col, 2018).

Los almidones que se emplean en esta aplicación tienen una doble modificación ya que están hidroxipropilados y entrecruzados.

### **1.5.2 Productos lácteos: Yogurt**

En la actualidad, los productos lácteos muestran siempre un crecimiento anual muy por encima de la industria, siendo el producto más destacado, el yogurt.

El yogurt es un producto natural que es fabricado de manera industrial, este producto lácteo lleva un proceso de fermentación con cultivos, como el *lactobacillus bulgaris* y *thermophilus* y, además, tiene muy baja acidez. En el mercado, se puede encontrar yogures de diferentes consistencias, con frutas o sabores, edulcorados, veganos (soya), funcionales (con fibra, colágeno, etc.), bajas en grasas, etc.; y cada una de ellas con una presentación en particular.

En todos estos nuevos desarrollos de yogurt, los almidones modificados han jugado un papel interesante, ya que este aditivo se ha ido ajustando a los requerimientos del mercado.

En la industria láctea, los almidones modificados son usados en las líneas industriales y esto se debe a que la leche fluida se somete a procesos donde se puede degradar los glóbulos grasos y las proteínas, y estos son los que le dan consistencia final al yogurt. Por lo cual, se necesitan adicionar al producto final. En los postres lácteos, cuando mayor es el contenido de materia grasa, mayor es la viscosidad de los postres. Por lo cual, cuando se desnata la leche o el yogurt, todos estos productos sufren una variación organoléptica, tanto en el sabor como en la textura del producto. Si estos productos finales se lanzarán al mercado tal cual, los consumidores finales no lo aceptarían, porque siempre buscan consumir productos con valor añadido, ya sea sin grasa o fortificados, con las mismas características organolépticas.

Un ejemplo común en la industria láctea es el yogurt batido que tiene menos flavor, es mucho menos consistente, y presenta tendencia a la sinéresis (separación del suero) (Delgado, 2018).

Los almidones modificados que se emplean en esta aplicación son los hidroxipropilados, así como también se usan los almidones con doble modificación física y química (pregelatinizados e hidroxipropilados) ya que proporcionan un homogéneo desarrollo de la viscosidad y dan estabilidad al congelado/descongelado.

### **1.5.3 Productos cárnicos: Salchichas**

Actualmente, en el sector cárnico, la mayoría de clientes demandan productos económicos, sabrosos y naturales, lo cual constituye un desafío bastante grande para este sector. Uno de los factores más importante que define la compra es la textura, en este ámbito los almidones modificados constituyen un importante grupo de aditivos funcionales que se caracteriza para formar estructura, mejorar las propiedades sensoriales, estabilizar la emulsión formada, controlar la exudación de jugos, entre otros beneficios. En la industria cárnica, cada vez más se está incrementando el reemplazo de la proteína, con el objetivo principal de reducir los costos y la disminución del contenido graso con el propósito de lograr productos cada vez más saludables. Estos cambios impactan de manera directa en la textura y jugosidad del producto final.

El almidón se añade debido a sus propiedades de ligazón tanto en los productos cárnicos emulsionados como en los elaborados a partir de piezas musculares enteras, como el jamón. En la industria cárnica peruana los almidones nativos tienen alta demanda, ya que son productos económicos y funcionales (Delgado, 2018).

Los almidones modificados que se emplean en esta aplicación son los hidroxipropilados ya que mejoran la retención de agua y la estabilidad al congelado/descongelado y ayudan a la retención de la sensación jugosa propia de la carne.

### **1.6 Comparación con hidrocoloides**

El uso de espesantes en la industria alimenticia se incrementa año con año, debido al desafío de presentar al consumidor alternativas más económicas de productos terminados, así como, de cumplir con las normativas locales que permitan satisfacer la creciente demanda de alimentos innovadores a bajo costo (Vera, 2011).

Comúnmente, los espesantes empleados en la industria alimenticia son: carboximetil celulosa (CMC), goma xantana y goma guar, cuya aplicación en relación costo-dosis se plantea como una alternativa de bajo costo en comparación con el uso de almidones modificados los cuales encarecen el producto final.

Los hidrocoloides son agentes espesantes, por lo que afectan la viscosidad de la masa y la capacidad de ligar agua. Además, debido a las propiedades altamente hidrofílicas de estas moléculas, se previene la migración del agua en los productos terminados, incrementando

la vida útil, por lo que se recomienda su uso en formulaciones para pan blanco en su dosis óptima. También se han informado cambios en las propiedades reológicas de las masas, disminuyendo la extensibilidad, según el hidrocoloide utilizado; el volumen de pan se ve afectado como así también la textura de la miga. Por otra parte, se han hallado incrementos del volumen específico de pan con algunos hidrocoloides debido a su papel estabilizante de la masa durante la fermentación (Ponzio, 2010). En la industria panadera, además de ser utilizados como reemplazantes del gluten, los hidrocoloides han sido empleados para mejorar la textura del pan, disminuir la velocidad de retrogradación de la amilopectina, aumentar la retención de agua y mantener la calidad general del producto durante más tiempo.

Como ya se sabe, todos los almidones tienen los mismos constituyentes, aunque difieren en el porcentaje de cada uno de ellos, dependiendo de la planta de la cual son extraídos. Es por eso que con sus modificaciones se utilizan ampliamente en la industria alimentaria, ya que son sustancias inocuas capaces de regular y estabilizar la textura de los alimentos por sus propiedades espesantes y gelificantes, pero es decisivo considerar todos los aspectos de los requerimientos del producto final, además de procesos y almacenamiento cuando se escoge un almidón. Los atributos clave de los almidones que deben considerarse son los siguientes: una hidratación rápida y gelatinización durante el procedimiento, viscosidad final, almacenamiento y estabilidad de congelar/descongelar, textura/gusto al paladar y costo (Martin y col, 2012).

Es por esto que en la actualidad el uso de los almidones modificados se considera importante no solo en la formulación del producto a elaborar, sino que también en los costos administrativos de la empresa que los compra, pues actualmente el mercado de los almidones modificados compite ampliamente con los hidrocoloides ya que estos son más baratos y su aplicación se considera más fácil. Ejemplos de empresas internacionales que distribuyen estos almidones son: INGREDION MEXICO, S.A. DE C.V., BRENNTAG MEXICO, S.A. DE C.V., INGREDIENTES FUNCIONALES DE MEXICO, S.A. DE C.V. y MAKYMAT S.A. DE C.V, que son líderes en la venta y producción de dichos aditivos, los cuales brindan al comprador la mejor opción para su producto, sin embargo en la actualidad no todas las microempresas tiene la posibilidad de adquirir un almidón modificado para emplearlo en su producto, ya que su precio depende de algunas consideraciones como: base del almidón, porque es muy diferente el costo del de maíz que el de tapioca, papa, arroz, etc.; el método de modificación, si es física o química; así como también el nivel de

modificación, por ejemplo: que tan entrecruzado esta; y por último si está en conjunto con otra modificación, haciéndolo de esta forma más caro. Es por esto que se tiene una alta aceptabilidad de los hidrocoloides, debido a su fácil acceso, su precio económico y su origen natural (Castañeda y col, 2019). Por parte de las microempresas que recurren a usarlos como sustitutos de los almidones modificados, porque se obtienen resultados que pueden llegar a compararse con dichos almidones.

#### Ventajas del uso de hidrocoloides

- Su uso permite el desarrollo de nuevos productos y la optimización de costos, razón que los hace muy útiles para la industria alimentaria.
- Modifican la reología y textura de suspensiones acuosas.
- Mejoran la textura de los alimentos.
- Disminuyen la retrogradación del almidón y aumentan la retención de humedad.
- Se utilizan como sustitutos de gluten en la formulación de pan sin gluten debido a que las gomas pueden actuar como sustancias poliméricas imitando las propiedades viscoelásticas del gluten en la masa de pan.
- Algunos hidrocoloides se utilizan como sustitutos de lípidos en productos bajos en calorías.

(Larrosa, 2014)

#### Ventajas del uso de almidones modificados

- Proporcionan cuerpo y consistencia.
- Ayuda a mantener las propiedades de color, textura, aroma y sabor del producto.
- Evitan que el alimento se deseeque.
- Mantienen de manera uniforme una mezcla de dos o más componentes insolubles entre sí.
- Facilitan la unión de fragmentos de una o varias sustancias.
- Reduce la tendencia de las partículas de adherirse unas a otras.
- Son de hidratación rápida y gelatinización durante el procedimiento, aumentan el almacenamiento y estabilidad de congelar/descongelar, así como también la textura/gusto al paladar.
- Son resistentes a procesos con condiciones extremas, ya que mantienen su estructura y estabilidad.

(Yakult S.A de C.V., 2019)

### Desventajas del uso de los hidrocoloides

- Conducen a estructuras más débiles y con menor comportamiento tipo gel. (Sciarini, 2011).
- No todos los hidrocoloides son solubles en agua fría y otros requieren mantener una misma temperatura durante el proceso para no perder su estabilidad, así como también no todos funcionan a pH bajos.
- Algunas gomas tienen la capacidad de reaccionar con ciertas proteínas causando aglomeraciones.
- Algunas gomas tienen interacciones sinérgicas que resultan en texturas muy diferentes a las gomas individuales por sí solas, es decir, para obtener mejores resultados se requiere de una mezcla de gomas aumentando los costos.

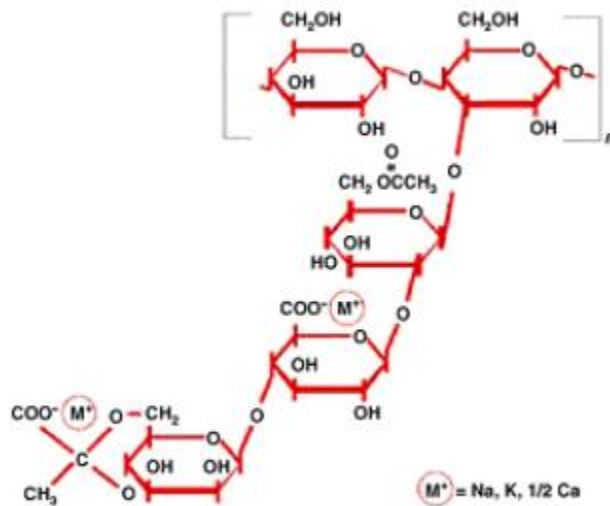
(Pasquel, 2001)

### Desventajas del uso de los almidones modificados

- Casi todos los almidones modificados presentan efectos secundarios, la mayoría de carácter leve y que aparecen a grandes dosis. Los más comunes son molestias en el aparato digestivo como dolor estomacal y espasmos intestinales.
- A pesar del mejor comportamiento obtenido con los almidones modificados, poseen la desventaja de tener el status de aditivos y ser menos económicos (Arocas, 2011).
- Si no se controlan las condiciones del proceso con el que se está elaborando el producto con almidón modificado como la temperatura, tiempo y pH, las características finales del producto pueden ser muy variadas (Arocas, 2011).
- Puede considerarse una desventaja el grado de sustitución que ha tenido un almidón modificado, ya que este influye en la solubilidad del mismo y por ende afecta la viscosidad que dará, es decir, un almidón con un bajo grado de sustitución es altamente soluble en agua, esto se puede deber a la presencia de una mutua repulsión entre la carga negativa de los grupos sustituidos en la molécula de almidón, lo que puede reducir las fuerzas de atracción intermoleculares. Sin embargo, un aumento en el grado de sustitución disminuye la solubilidad, lo que puede deberse a la formación de ligaciones cruzadas entre los polímeros del almidón. Estudios con almidones fosfatados de arroz y maíz mostraron que su viscosidad disminuía conforme aumentaba su grado de sustitución (Martínez, 2007).

### 1.6.1 Almidón vs goma xantana

La goma Xantana es un hidrocoloide producido por la fermentación de carbohidratos con la bacteria *Xantomonas campestris*. Esta goma está constituida por una estructura básica celulósica con ramificaciones de trisacáridos, es decir la estructura del polímero está conformada de unidades glucosas unidas por enlaces  $\beta$ -1,4. En las moléculas de xántica, cada dos unidades de  $\beta$ -D-glucopiranosilo de la cadena principal, se une en la posición O-3 la unidad de trisacárido cargado de unidades de  $\beta$ -D-manopiranosil- $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-Dglucuronopiranosil-(1 $\rightarrow$ 2)-6-o-acetil- $\beta$ -D-manopiranosil, con aproximadamente la mitad de ellos teniendo un ácido pirúvico unido al acetal cíclico en posición 4,6, como se muestra en la figura 8 (Larrosa, 2014). Es completamente soluble en agua fría o caliente y produce elevadas viscosidades en baja concentración. Posee excelente estabilidad al pH y al calor, pues la viscosidad de sus soluciones no cambia de 0 a 100°C y de pH 1 al 13. Es utilizada en muchos productos como espesante, estabilizante y agente para mantener suspensiones (Rojas, 2012).



**Figura 8.** Estructura de la goma xantana. Fuente: Larrosa, 2014.

Mejora las características de la masa y es útil en la fabricación de rellenos ya que pueden prepararse en estado frío y el producto resultante tendrá excelente textura y buen desarrollo del sabor (Vera, 2011).

### Ventajas de su uso en productos de panificación.

- Se usa para aumentar la retención de agua durante el horneado y el almacenamiento, aumentando así la vida útil del pan, los dulces y las masas refrigeradas. Este efecto se ha atribuido a que la red que forman los hidrocoloides previene la liberación de gas durante la fermentación, permitiendo así un mejor desarrollo del pan (López, 2008).
- En algunas ocasiones, se utiliza además como sustituto del huevo, con el objetivo de reducir el contenido de clara sin afectar a la apariencia y el sabor del producto (Mollejo, 2020).
- Es completamente soluble en agua fría o caliente y produce elevadas viscosidades en bajas concentraciones, además de poseer una excelente estabilidad al calor y pH, pues la viscosidad de sus soluciones no cambia entre 0 y 100°C y 1 a 13 de pH (Pasquel, 2001).

### Desventajas de su uso

- Su adición puede causar aglomeración de proteína.
- La goma xantana puede presentar efectos secundarios si se sobrepasa la cantidad recomendada de 15 gramos al día.

### Comparación

En términos generales, esta goma puede ser empleada en panificación debido a sus propiedades como agente emulsificante alto contenido en fibra dietética, su capacidad de retención de agua y sus propiedades de adhesión y formación de película. Al hacer un análisis de sus aplicaciones y beneficios que brinda a los productos de panificación donde se utiliza, y las condiciones de proceso a las que se puede someter esta goma, se determinó que puede llegar a ser comparada con el almidón entrecruzado, ya que ambos son buenos agentes emulsificantes. Se resalta que los dos presentan una alta estabilidad al pH y al calor, pues su sinéresis es mínima dando así una mayor vida de anaquel al producto. Sin embargo, es importante mencionar que debido a la modificación química que presenta este almidón, sigue teniendo mayores ventajas al usarse, ya que tiene una mayor tolerancia a procesos y a los ciclos de congelación-descongelación.



### **1.6.2 Almidón vs goma guar**

La goma guar es un polímero de uso relativamente creciente, deriva de las semillas de la planta leguminosa *Cyamopsis tetragonoloba* de la familia Leguminosae. Es empleado en forma de polvo como un aditivo alimentario. Muchas de sus aplicaciones son posibles debido a su habilidad de formar puentes de hidrogeno con la molécula del agua (Borries, 2014). Se disuelve completamente en agua fría, produciendo alta viscosidad; sin embargo, no gelifica y su principal uso es como formador de cuerpo, estabilizante y ligador de agua (Rojas, 2012).

En productos de panadería, cuando es agregada a diferentes tipos de masas durante el amasado, aumenta el rendimiento, da mayor elasticidad, y produce una textura más suave, da una vida de anaquel más larga y mejores propiedades de manejo. En pasteles y masas de bizcocho, produce un producto más suave que se saca fácilmente de los moldes y se rebana fácilmente sin desmenuzarse (Vera, 2011).

#### Desventajas de su uso

- No son muy estables en ambientes con pH bajos.
- La mayor parte de esta goma que es comercializada para usos industriales proviene del endospermo, teniendo diversos grados de pureza industrial la cual influye directamente en su capacidad de poder ligar cierta cantidad de agua (Castañeda y col, 2019).
- Esta goma es no iónica, por lo cual no es afectada por la fuerza iónica o el pH. Sin embargo, si el medio es ácido o básico, se presenta una reducción en la viscosidad en comparación con un medio neutro (Rojas, 2012).

#### Comparación

La goma guar es un agente espesante y estabilizante económico, se hidrata fácilmente en agua fría para producir soluciones de alta viscosidad. Esta alta viscosidad que genera a bajas concentraciones la convierte en un excelente espesante en la industria de alimentos tales como postres y rellenos para repostería (Rojas, 2012). Con base en lo anterior y observando sus aplicaciones en productos de la industria de la panificación, se puede decir que las propiedades funcionales que brinda esta goma a los rellenos y a las masas para elaborar pan, se comparan con las propiedades funcionales del almidón pregelatinizado, debido a que este también se utiliza para dar una alta viscosidad a temperaturas bajas, así

como también brinda una excelente propiedad de unión y una gran retención de humedad para dar una textura suave. Cabe mencionar que, para obtener resultados altamente comparables entre la goma guar y el almidón pregelatinizado, las concentraciones de trabajo de esta goma deben ser más de 1.5%.

### ***1.7 Sinergismo con harinas no convencionales***

La funcionalidad de las harinas de panificación está ligada a sus almidones los cuales poseen propiedades que determinan su funcionalidad tales como el color, retrogradación, índice de amilosa, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad, poder de hinchamiento y capacidad de retención de solventes; han sido utilizadas para verificar la estabilidad de la mezcla, su capacidad de enlazar agua en condiciones frías y con calor, reducir encogimiento durante la cocción, mayor dispersabilidad y estabilidad a altas temperaturas; son una alternativa para predecir y reproducir la calidad y metodología de procesamiento en productos panificables. Siendo la principal misión de estas propiedades es asegurar la estabilidad de las interacciones formadas en estos sistemas alimenticios.

Los productos horneados sobre la base de harina de trigo, son consumidos en forma masiva. Entre ellos, el pan ocupa un lugar preponderante en todo el mundo. Existe, sin embargo, un grupo poblacional que presenta intolerancia a las prolaminas presentes no sólo en el trigo, sino también en la avena, la cebada y el centeno, conjunto de cereales identificados como TACC, dicha sigla significa Trigo, Avena, Cebada y Centeno. Este serio síndrome, caracterizado por una mal absorción intestinal que es llamado enfermedad celíaca y puede provocar una severa malnutrición.

Los cereales considerados aptos para ser consumidos por la población celíaca (maíz, arroz, sorgo) han sido objetos de estudios para intentar sustituir al trigo en la formulación de productos de panificados, sin embargo, la imposibilidad de las harinas de estos cereales de formar una fase continua y estructura de masa cuando son mezcladas con el agua, es debido a la falta de propiedades viscoelásticas que sólo poseen las proteínas formadoras de gluten presentes en el trigo y que son imprescindibles para obtener panes de buena calidad. Para lograr esta aceptabilidad es necesario que los panes libres de gluten, formulados con estos cereales, tengan características de calidad similares a los panes elaborados con harina de trigo. Por lo que se han llevado a cabo estudios en donde se han

incorporado a la formulación ingredientes capaces de aportar propiedades viscoelásticas a la masa que contribuyan a la retención del gas producido durante la fermentación, aspecto de fundamental importancia para la formación y el establecimiento de la estructura que determina la textura final característica del pan elaborado con harina de trigo. Una de las opciones para formular estos productos ha sido utilizar algunos almidones y harinas modificados, que al hidratarse también producen un aumento de la viscosidad de la masa, a través de la formación de una red tridimensional capaz de retener gases y expandirse durante la fermentación y el horneado (Sánchez y col, 2008).

En estas formulaciones de masa para pan se han realizado sustituciones de harina con almidón modificado de hasta un 20% logrando masas con resistencia mecánica y panes con volumen. Los resultados obtenidos son muy diversos, dependiendo de la cantidad de almidón adicionada a las formulaciones para pan: algunos almidones no causan diferencias sensoriales, sin embargo, pueden llegar a afectar el volumen del pan (Cano, 2008).

Los almidones modificados de distintos orígenes botánicos pueden emplearse para mejorar la calidad de estos productos, ya que la mayor disponibilidad de este polímero significa una mayor gelatinización, y este fenómeno favorece el desarrollo de una red cohesiva que atrapa el gas y previene la pérdida de CO<sub>2</sub> y el colapso de la corteza. Sin embargo, al adicionar un almidón modificado a una harina de un origen no convencional o libre de gluten donde por su uso se busca también mejorar la textura, el sabor, la elasticidad de la miga y la vida útil de estos productos horneados, no reemplaza las harinas que contienen gluten, pero sí ayuda a atrapar el aire y da a los horneados el volumen y la esponjosidad que carecen muchos horneados sin gluten. También ayuda a crear una mejor capa externa en el pan haciéndolos más crujientes (Sciarini, 2011).

### ***1.8 Extensión de vida de anaquel***

La vida de anaquel puede ser definida generalmente como el período de tiempo seguido a la cosecha, producción o manufactura, sobre el cual el alimento mantiene la calidad requerida (Raymundo y Romani, 2016). Esta vida de anaquel es determinada para cada alimento en particular y el hecho de incorporar nuevos ingredientes en el diseño de nuevos productos, puede traer consigo variación en la vida de anaquel del alimento.

El alimento es intrínsecamente perecedero y, en función de sus características físicas y químicas, de sus propiedades y las condiciones de almacenamiento, llegará un momento

en que cualquiera de sus cualidades de calidad no serán aceptables o se convertirá en perjudicial para el consumidor (Salas y col, 2011). Este período depende de muchas variables en donde se incluyen tanto el producto como las condiciones ambientales y el empaque. Dentro de las que ejercen mayor peso se encuentran la temperatura, pH, actividad de agua, humedad relativa, radiación (luz), concentración de gases, potencial redox, presión y presencia de iones (Raymundo y Romani, 2016).

Actualmente, los consumidores demandan constantemente alimentos de alta calidad, esperando que esta calidad se mantenga desde el periodo de la compra hasta el consumo. De tal forma que el alimento no solo se mantenga inocuo, sino que también conserve la mayoría de sus propiedades organolépticas y nutricionales. El control de estas variables es de vital importancia ya que entre mayor tiempo de vida de anaquel tenga un alimento, mayor oportunidad de venta tendrá. Debido a esto, los productores de alimentos procuran conocer la vida útil de su producto bajo diferentes condiciones de almacenamiento (Synergy Biotech, 2014).

Es importante considerar que la calidad de los alimentos engloba muchos aspectos del mismo, como sus características físicas, químicas, microbiológicas, sensoriales y nutricionales, referentes a inocuidad. Al considerar estos parámetros como inaceptables, el producto ha llegado al fin de su vida útil.

El pan posee una vida útil corta, lo cual se debe al endurecimiento que sufre debido a la retrogradación del almidón y a la pérdida y redistribución del agua. Desde el punto de vista de seguridad y organoléptica, el nivel comestible aceptable del pan depende de cuatro principales factores: formulación, procesamiento, empaque y condiciones de almacenamiento (Raymundo y Romani, 2016).

Siendo el principal factor la formulación del producto, el uso de aditivos es considerado como una tecnología de alimentos que ayuda a extender esa vida útil y por tanto su vida de anaquel. Estos aditivos son sustancias o compuestos no nutritivos que se adicionan directamente a todo producto alimenticio industrializado durante su elaboración, con el propósito de proporcionar estabilidad fisicoquímica al alimento y mejorar las características sensoriales. El uso generalizado que la industria alimentaria hace de los aditivos, la obliga a establecer mecanismos de control que regulen su correcta utilización y que verifiquen sus resultados en términos de otorgar un valor agregado al consumidor (Vera, 2011).

Entre los aditivos más usados se tiene a los almidones modificados, por ejemplo, para alargar la vida de anaquel en masas congeladas, la adición de almidón entrecruzado dará estabilidad al congelamiento, logrando que después de varios ciclos congelamiento-descongelamiento, la pérdida de agua de las pastas de almidón sea nula y la textura permanece suave y fluida. Esto se debe al grado de sustitución que tiene el almidón, el cual aumenta las fuerzas de atracción intermoleculares formando ligaciones cruzadas entre los polímeros del almidón (Martínez, 2007).

Por otro lado, los almidones hidroxipropilados utilizados en productos de panificación y bollería, benefician aún más la lenta retrogradación de amilopectina, son muy efectivos para retardar el enranciamiento del pan, debido al volumen de las moléculas de los grupos hidroxipropilos que prevén el alineamiento de las cadenas de amilosa (Enríquez, 2012).

En el caso de los almidones pregelatinizados que se aplican en glaseados, rellenos y pasteles, para mantener su textura disminuyendo la dureza de la miga y dándoles una mayor vida de anaquel; se debe a que al adicionar una cantidad de almidón pregelatinizado se obtienen masas más fluidas, influyendo en la gelatinización del almidón debido a la concentración extra de agua, además de que permiten mantener la separación de fases del producto (Osorio y col, 2020).

En las masas para elaborar galletas se puede utilizar almidón oxidado, ya que este tipo de almidón permite mantener la viscosidad de la masa. Se ha observado que los grupos carboxílicos son los responsables particularmente de esta estabilidad en la viscosidad de la pasta dando así una mayor vida en el almacenamiento (Martínez, 2007). Debido a lo voluminoso de los grupos carboxilo, se inhibe (por impedimentos estéricos) la unión de cadenas lineales y, por consiguiente, la retrogradación (Badui, 2006). Se sabe que el agente oxidante penetra al granulo, actuando principalmente sobre las áreas menos cristalinas (región amorfa); lo anterior ha sido demostrado por la ausencia en el cambio de birrefringencia y en los patrones de difracción de rayos X de almidones oxidados (Sánchez, 2004).

Los almidones modificados como un ingrediente alimentario se encuentran aprobados por instituciones nacionales como la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) e internacionales como la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) (Yakult S.A de C.V., 2019).

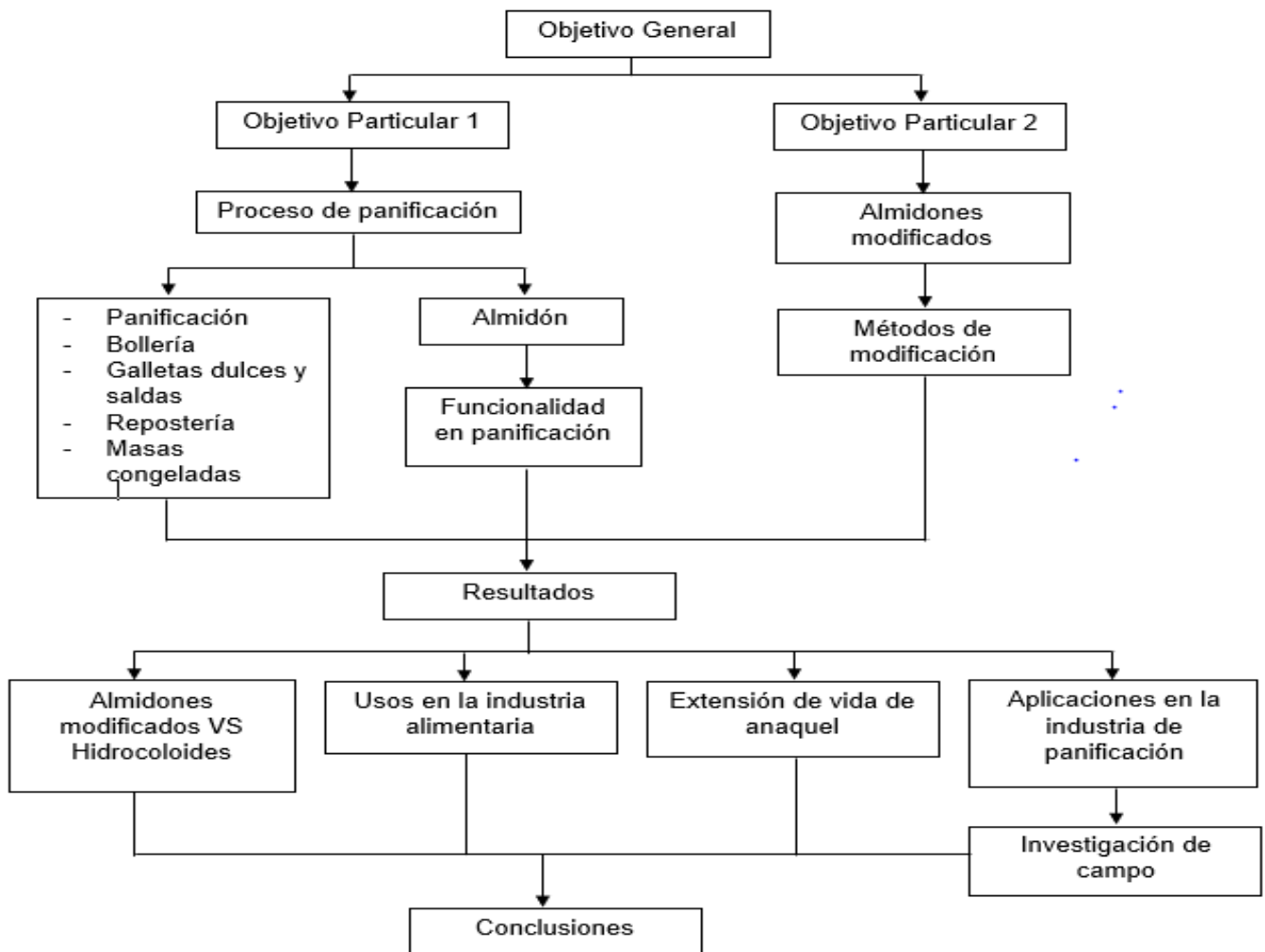
## Capítulo 2: Metodología

La metodología que se siguió en este trabajo fue una metodología cualitativa la cual se centró en la investigación de la importancia y función que imparten los diferentes tipos de almidones en sus aplicaciones en productos de panadería, bollería, galletas dulces y saldas, repostería y masas congeladas.

Esta metodología consto de las siguientes fases:

1. Búsqueda: En esta primera fase de investigación se hizo una búsqueda de toda la información que sería requerida para el trabajo a través de una exploración en internet donde se revisaron artículos científicos, tesis de licenciatura, maestría y doctorado, así como también páginas web, revistas y libros en los cuales se encontraran las palabras clave tales como: Almidón, Almidón modificado, Panificación.
2. Recopilación: Una vez obtenida la información se hizo un filtro donde se recopilo por año, tema estudiado, aplicación del tema y la institución en la que fue elaborado.
3. Redacción: En esta fase se compararon los textos y se analizaron de tal forma que se pudiera dar una explicación más amplia del tema, desde un punto general hasta lo particular.
4. Investigación de campo: Como punto final se consideró realizar una investigación de campo la cual dio un enfoque real en cuanto al conocimiento del término “almidón modificado” dentro del mercado local de Cuautitlán Izcalli, Edo de México. Dicha investigación se aplicó a 7 panaderías, 3 consideradas microempresas y 4 medianas empresas.

A continuación, se presenta el cuadro metodológico de investigación.



### ***Objetivo General***

Determinar la funcionalidad del almidón durante el proceso de panificación y sus diversas modificaciones para mejorar la calidad sensorial, funcional, nutrimental de productos de panificación, bollería, galletas dulces y saladas, repostería, y masas congeladas, mediante una revisión documental actualizada.

### ***Objetivo Particular 1***

Identificar la funcionalidad del almidón nativo durante el proceso de panificación de los productos de bollería, panificación, galletas dulces y saladas, repostería, y masas congelada para saber cómo influye en las características de calidad sensorial, funcional y nutrimental finales mediante una revisión documental actualizada.

### ***Objetivo Particular 2***

Evaluar la función de cada tipo de almidón modificado al usarse en los productos de panificación, bollería, galletas dulces y saladas, repostería y masas congeladas, mediante una revisión documental actualizada para conocer cuál de ellos se utiliza más y en qué tipos de productos.



## Capítulo 3: Resultados

### Resultados del objetivo 1

Como se vio en el capítulo 1, el almidón nativo que se encuentra naturalmente en la harina con la que elaboramos diversos productos horneados, tiene una gran funcionalidad debido a que confiere características de calidad al producto final, como es la formación, volumen de la masa y la textura, que junto con la interacción que hace con el gluten tendrá la capacidad de retener el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua generados en la fermentación y cocción respectivamente, dando lugar a la transformación de la masa a un pan. Considerando también que el almidón ayudara en ciertas masas a aumentar su propiedad para extenderse y crujir, además de evitar que se pegue.

Otra de sus funciones es que ayudará a formar la miga del pan, haciéndolas homogéneas para obtener una mejor textura y volumen del producto, y que en conjunto con las proteínas presentes en el sistema dará como resultado una matriz resistente que soporta el desarrollo del producto, repercutiendo en una miga más uniforme y con celdas más pequeñas.

Cabe mencionar que una vez analizada la información, se sabe que el almidón nativo no logra disminuir al 100% el desperdicio de materia prima en una masas congelada ya que el efecto del almidón se ve afectado en los grandes cambios de textura ocasionados por los ciclos de congelación y descongelación que sufre el producto, tomando en cuenta la calidad de las masas congeladas que se puede deteriorar gradualmente durante el almacenamiento en estado congelado, hecho que se atribuye a la pérdida en la capacidad de retener gases de la masa disminuyendo así su fuerza.

### Resultados del objetivo 2

#### **3.1 Almidones modificados más usados en la industria de panificación**

Con base en lo anterior se puede decir que, el uso de los distintos almidones modificados que existen en la industria de alimentos puede variar según las propiedades que se quieran dar al producto, obteniendo así las características deseadas.

### **3.2 Aplicaciones en la industria de panificación**

Como ya se mencionó, se tomaron en cuenta los productos de panificación, bollería, galletas dulces y saladas, repostería, y masas congeladas. Siendo estos grupos los que han reflejado mayor crecimiento en el mercado de panadería desde el año 2018 pronosticándose dicho crecimiento hasta el año 2022, de acuerdo con Mercados y Tendencias (2019) y Celis, (2019), que indicaron que las ventas de estos productos de la panificadora mexicana “BIMBO” han aumentado 2.1%.

Se considera a la creciente importancia de las panaderías en las tiendas y en los supermercados como uno de los principales factores que impulsan el crecimiento del mercado de panadería en todo el mundo, ofreciendo una amplia gama de productos. Las panaderías en las tiendas, situadas en super centros y casas club, se encuentran entre los destinos preferidos de ventanilla única para los consumidores debido a la frescura y la calidad de sus productos. Los supermercados, en tanto, han reaccionado y están introduciendo sus propias panaderías en las tiendas, produciendo productos de panadería de marca propia y los venden a precios más bajos. Por lo que, se han convertido en una opción preferida entre los clientes preocupados por el precio (Mercados y Tendencias, 2019).

Tomando en cuenta todos los retos de la industria de panificación que son muchos, cabe destacar los siguientes: ofrecer productos panificados de mayor calidad, competir con otras categorías de productos y lograr la preferencia del consumidor. Estos retos se han ido resolviendo con el uso de los almidones modificados que mejoran sus propiedades funcionales por lo que nos brindan un amplio rango de aplicaciones industriales (Aristizábal y Sánchez, 2007). Convirtiendo estos productos resultantes en productos de mayor valor agregado.

A continuación, se presenta una tabla con los almidones modificados más usados en la industria de panificación, sus aplicaciones y algunos ejemplos de productos con marca registrada:

**Tabla 5.** Almidones modificados más usados en la industria y sus aplicaciones.

3.1 Almidones modificados más usados en la industria de panificación	3.2 Aplicaciones en la industria de panificación según el tipo de almidón modificado	Ejemplos
<p>✓ <b>Entrecruzados:</b> Estos almidones modificados se emplean para dar estructura y disminuir la actividad de agua de la masa con lo cual aumenta la vida útil del producto final y se produce un mayor rendimiento en el batido. Debido a que se obtienen por reacción con moléculas bifuncionales que reaccionan con uno o más grupos hidroxílicos del almidón, pueden obtenerse productos con cadenas entrecruzadas, más estables y de gran resistencia, con escasa tendencia al hinchamiento (Aristizábal y Sánchez, 2007). La capacidad con la cual el producto obtenido será capaz de absorber agua disminuirá conforme al incremento del número de entrecruzamientos y aumentará su resistencia al calentamiento del agua. Posteriormente, la pérdida de agua de las pastas de almidón es nula y la textura permanece suave y fluida. lo cual se puede atribuir a la fuerza de atracción entre los grupos fosfatos en la molécula, por la formación de ligaciones cruzadas entre los polímeros del almidón. Básicamente se forma una red de enlaces cruzados en los cuales las moléculas de almidón están interconectadas (Martínez, 2007).</p>	<p>✓ En el mundo se desecha gran cantidad de productos panificados porque endurecen, esto representa una importante pérdida económica. Una de las estrategias que ha empezado a utilizarse para disminuir dichas pérdidas es la <b>congelación de las masas</b>, ya que este proceso permite ofrecer al consumidor permanentemente un producto recién elaborado. En este sistema de elaboración la producción de las piezas de masa es centralizada en tanto que la etapa de horneado es descentralizada en pequeños comercios próximos al consumidor, lo que permite brindar pan fresco en todo momento. Desde el punto de vista económico los productos panaderos congelados presentan el inconveniente que deben ser transportados y mantenidos a -18°C hasta el final del proceso (Ribotta, 2002). Podría considerarse entonces como una solución, realizar un análisis general de la demanda de cada producto con la finalidad de producir la cantidad específica de masa para congelar y así mismo disminuyendo las posibles mermas para no clasificar a las masas congeladas como una de las principales materias primas. De igual forma se debe considerar la adición de almidón modificado para no disminuir el rendimiento de estas masas. Siendo los almidones más empleados para estos productos los modificados por enlaces entrecruzados ya que disminuyen la actividad de agua de la masa, producen un mayor rendimiento en el batido y hacen que la pérdida de agua de las pastas de almidón sea nula y la textura permanece suave y fluida.</p>	<p><u>Tonys®</u>: Pizza queso</p> <p><u>RefBaron®</u>: Pepperoni pizza</p> <p><u>Extra especial®</u>: Pizza de pepperoni y quesillo</p>

Continuación de **Tabla 5.**

<p>✓ <b>Oxidados:</b> En productos como galletas asegura la gelatinización controlando la simetría y extensión durante el horneado. Esto se puede deber a que se involucra la deliberada producción de grupos carboxilos. Dependiendo de las condiciones de reacción (temperatura y pH) durante la reacción de oxidación, los grupos OH de las moléculas del almidón son primero oxidados a grupos carbonilos (C=O) y posteriormente a grupos carboxilos (COOH) por consiguiente la cantidad de ambos grupos químicos son los que definen el grado de sustitución en el almidón oxidado, especialmente de los grupos OH de las posiciones de los carbonos C2, C3 y C6 de cada unidad <math>\alpha</math>-D-glucopiranosil. Siendo los grupos carboxilos los que dan la estabilización a las moléculas lineales de la amilosa y minimizan la retrogradación (Sánchez, 2004). En una reacción de oxidación con NaOCl, el 25% del reactivo oxidante participa en el rompimiento de los enlaces carbono-carbono; mientras que alrededor del 75%, se consume en la oxidación de los grupos hidroxilos, sugiriendo la alta selectividad que tiene el ion hipoclorito para oxidar los grupos OH de las unidades de glucosa (Sánchez, 2004).</p>	<p>➤ <b>Las galletas dulces</b> son productos de consistencia más o menos dura y crocante, de forma variable, obtenidas por el cocimiento de masa preparada con harina, agentes leudantes, leche, sal, huevo, manteca vegetal, azúcar, saborizantes, colorantes, conservadores y otros ingredientes permitidos. Se caracterizan por tener la estructura del gluten bien desarrollada, pero con el aumento del azúcar, el gluten se hace menos elástico y más extensible (Arroyo y Barrientos, 2014). Los almidones más empleados para estos productos son los oxidados ya que aseguran la gelatinización controlando la simetría y extensión de la masa durante el horneado.</p>	<p><u>Gamesa®</u>: Emperador</p> <p><u>Marinela®</u>: Triki trakes</p> <p><u>Marian®</u>: Tartaletas</p> <p><u>Gamesa®</u>: Cremax, Arcoiris, Marías, Crakets.</p> <p><u>Waffer®</u> <u>Natta®</u> <u>Mac´Ma®</u>: Galletas con relleno sabor nata</p>
--	--	--

Continuación de **Tabla 5.**

<p>✓ <b>Pregelatinizados:</b> Empleándose a concentraciones mayores a 40%, la dureza de los panes disminuye, debido a que al adicionar una cantidad de almidón pregelatinizado se obtienen masas más fluidas, comportándose como mezclas para formulaciones de pastel, influyendo en la gelatinización del almidón debido a la concentración extra de agua (Osorio y col, 2020). También se utilizan para dar una alta viscosidad en la masa, brinda una excelente propiedad de unión y una gran retención de humedad para dar una textura suave. Siendo aplicable en congelados, glaseados y rellenos, y pasteles. Mantiene los trozos de fruta dispersos y evita la separación de fases.</p> <p>El uso de secadores de tambor y extrusión usados industrialmente para obtener almidones pregelatinizados ocasionan una degradación severa a los gránulos de almidón y aumentan la cantidad de sólidos solubles (Martínez y col, 2005). Lo cual consiste en la fusión parcial de los cristalitas de amilosa, cuando se alcanza la temperatura de transición vítrea del polímero, esta fusión debilita las fuerzas intermoleculares permitiendo que las cadenas pequeñas de amilosa se solubilicen y difundan hacia el exterior, modificando el arreglo molecular de la amilosa que se encuentra en fase amorfa dando lugar a la formación de cristales metaestables, mientras que la mayor parte de la amilopectina permanece dentro del grano (Garzón, 2006). Lo que permite obtener una masa fluida y con una viscosidad estable.</p>	<p>➤ <b>Productos de panificación</b> se definen como los de consumo habitual en el día, elaborados con harina de trigo, sal, levadura y agua, a los que se les pueden añadir ciertos coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados (Mesas y Alegre, 2002).</p> <p>➤ <b>Bollería, pastelería y repostería</b> son los preparados y productos alimenticios que se elaboran con una masa de harinas con la posible adición de otros alimentos como aceites o grasas, agua, complementos panarios y/o aditivos, y que posteriormente se someten a un tratamiento térmico. Puede llevar relleno o guarnición, tanto dulce como salada: fruta, chocolate, cremas, mermeladas, charcutería, encurtidos, etc. Los almidones más empleados para estos productos son los hidroxipropilados ya que retardan el enranciamiento del pan y mejoran su calidad, así como también se usan los almidones pregelatinizados porque ayudan a disminuir la dureza en los panes, retienen la humedad para dar una textura suave y mantiene los trozos de fruta dispersos, evitando la separación de fases. Y también los almidones hidrolizados enzimáticamente ya que contribuyen a realzar el sabor, aroma y a dar el color de la corteza.</p>	<p><b>Panificación</b> <u>Bimbo®</u>: Colchones, Panque con pasas.</p> <p><b>Bollería, pastelería y repostería</b> <u>Bimbo®</u>: Mantecadas de vainilla, Nito, Little bites. <u>Tía Rosa®</u>: Bigotes.</p> <p><u>Marinela®</u>: Pingüinos, Choco roles, Gansito, Snow balls.</p> <p><u>Suandy®</u>: Pastisetas</p> <p><u>Pop tarts®</u>: Tarta de trigo escarchada con relleno.</p>
--	--	---

Continuación de **Tabla 5.**

✓ **Hidroxipropilados:** A causa de la lenta retrogradación de amilopectina, este es muy efectivo para retardar el enranciamiento del pan y mejorar su calidad. Esto puede deberse a que, en el proceso, el agente reactivo penetra en las regiones más amorfas derivatizando a ésta primero, pudiendo por consiguiente hinchar los gránulos por apertura de la región cristalina, permitiendo más acceso al agente reactivo. Éste causa disrupción de los cristallitos y reorientación de las dobles hélices de la amilopectina. Mayor derivatización causa mayor interrupción de puentes de hidrógeno en la región cristalina, por consecuencia, éste requerirá menos energía para destruir la región cristalina durante la gelatinización. Esto indica que la retrogradación determinada por la asociación de cadenas de amilosa es sustancialmente reducida por la hidroxipropilación; el volumen de las moléculas de los grupos hidroxipropilos puede prevenir el alineamiento de las cadenas de almidón durante la agregación y cristalización (Enríquez, 2012).

Continuación de **Tabla 5.**

<p>✓ <b>Hidrolizados enzimáticamente (conversión a dextrosa):</b> Esta sirve como azúcar fermentable y también contribuye a realzar el sabor y aroma y a dar el color de la corteza. Dado que el almidón es un polímero formado por miles de unidades de glucosa su hidrólisis produce glucosa o dextrosa. Los hidrolizados comerciales de almidón son clasificados de acuerdo al equivalente de dextrosa (DE). Las dextrinas son productos de degradación parcial del almidón obtenidas por calentamiento, con o sin catalizadores, en un mecanismo de conversión que involucra procesos de ruptura hidrolítica, reorganización de moléculas y repolimerización. El calor rompe parte de las uniones 1-4 del almidón e incrementa las uniones 1-6, con lo que se disminuye la longitud de las cadenas moleculares, al tiempo que se incrementa la ramificación. Esto determina una buena solubilidad en agua fría, menor tendencia a la retrogradación y mayor resistencia a las enzimas (Aristizábal y Sánchez, 2007).</p>		
--	--	--

### **3.3 Análisis de un trabajo experimental**

En esta sección se analizarán dos trabajos experimentales como último punto para dar respuesta a la hipótesis que se planteó en el presente trabajo, considerando de esta forma una aplicación experimental y no solo teórica de los almidones modificados en la industria de los alimentos.

El primer trabajo a analizar se titula “Estudio comparativo del efecto de la adición de almidón modificado en un pan tipo “Muffin” horneado en microondas y convencionalmente” realizado por QBP. Francisco Javier García Zaragoza en el año 2009 en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, IPN.

Dicho trabajo se tomará como un ejemplo del uso de los almidones modificados en un producto de panificación.

A continuación, se presenta el resumen del trabajo anteriormente mencionado:

“La industria de la panificación recurre al uso de almidones modificados para mejorar las características del pan. El uso de estos aditivos aunado al cocimiento por microondas, podría resultar en la generación de productos de mayor calidad y menor costo. Sin embargo, no se ha incursionado en la aplicación simultánea de estos factores por parte del sector industrial. El empleo de almidón modificado no cuenta con información científica que explique los cambios que experimenta su estructura y el efecto en su digestibilidad cuando son horneados en microondas, por lo que es necesario la realización de investigaciones al respecto”.

Se realizó un estudio comparativo de la digestibilidad “*in vitro*” de un pan “tipo muffin” adicionado con almidón modificado (AR4) elaborado en horno de microondas convencional. Para el caso del muffin de microondas se establecieron las condiciones de horneado mediante un estudio de superficie de respuesta y se evaluaron las características de la harina para su elaboración. El pan convencional se coció en horno eléctrico de columpios. En ambos productos se fabricaron lotes con y sin adición de AR4 a los cuales se les realizó el análisis químico proximal, valor energético, análisis de imágenes de miga, evaluación sensorial, almidón total y resistente, así como la evaluación de digestibilidad que incluyó el índice de hidrólisis y la predicción de índice glucémico.

El producto horneado por microondas tuvo menor humedad, en actividad de agua, poco desarrollo de color, no formó corteza y presentó mayor volumen en relación al obtenido en horno convencional, sensorialmente los muffins obtenidos por cualquier proceso de cocción fueron similares en sabor para el consumidor; durante el almacenamiento los cuatro lotes elaborados desarrollaron contenidos similares de almidón resistente total. El pan elaborado en microondas y adicionado con AR4 generó la misma calidad de miga que el pan convencional con este aditivo y tuvo mayor digestibilidad en comparación con los datos obtenidos en los lotes de horno convencional con y sin la adición de este aditivo, así como del horneado en microondas sin AR4.

Una vez analizado los resultados obtenidos en este trabajo se encontró que el muffin horneado en forma convencional y por microondas fueron estadísticamente similares ya que dieron el mismo comportamiento funcional en la masa batida, aumentando el número



de las celdas haciéndolas más circulares lo que se vio reflejado en el producto final con grano de miga más cerrado y homogéneo con un volumen final más alto que el muffin no adicionado de AR4. Esto se debió gracias a la estructura estable del almidón entrecruzado, el cual repercutió en la estructura final de la miga desarrollando de forma eficaz el volumen del pan.

Finalmente se concluyó en el trabajo que al sustituir el 25% de harina por almidones modificados para la elaboración de un muffin en horno de microondas, se obtiene un producto con características sensoriales aceptables por los consumidores. De igual forma indicaron que el adicionar el AR4 favorece un mayor grado de gelatinización durante el cocimiento de la masa batida.

- Este trabajo demuestra que al usar almidón modificado por entrecruzamiento se obtienen mejores resultados en el producto final comparado con uno sin la adición de este almidón. Esto prueba que el uso de los almidones modificados sí mejora los productos, y que además conservan las características sensoriales de los mismos, mostrándose beneficios para la industria y para los consumidores.

El segundo trabajo que se analizará se titula “Modificación organocatalítica de almidón para la obtención sostenible de derivados de alto valor agregado” realizado por MG. Maribel Victoria Tupa Valencia en el año 2019 en el Instituto De Tecnología En Polímeros y Nanotecnología (ITPN – UBA – CONICET), Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires. Enfocándose específicamente en el capítulo 4. El cual se tomará como ejemplo de la preparación de un almidón modificado.

A continuación, se presenta el resumen del trabajo anteriormente mencionado:

“La presente Tesis de Doctorado se enfocó en la obtención de almidones esterificados por una ruta no convencional, su caracterización general exhaustiva, y el análisis de propiedades relevantes para dos usos concretos específicos: i) almidones modificados para uso como aditivo de alimentos y ii) almidones esterificados con ácidos grasos de cadena corta como fuente de almidón resistente”.

En el Capítulo 4 se introduce la utilización de almidones acetilados, entrecruzados y doblemente modificados como aditivo en la industria de alimentos. Después, se preparan

almidones acetilados con grado de sustitución permitido por la FDA, y los productos se caracterizan en términos de sus propiedades funcionales. Se evalúan así propiedades tales como poder de hinchamiento, solubilidad, claridad de la pasta, retrogradación, propiedades térmicas de gelatinización y propiedades reológicas; y se destacan las propiedades diferenciales de los almidones doblemente modificados producidos”.

Uno de los objetivos particulares de este trabajo es dar a conocer la vía organocatalítica de esterificación de almidones y sus potencialidades. Así como también estudiar la evolución de la reacción en el volumen del gránulo y evaluar el aporte de reacciones de entrecruzamiento.

Se estudió la acetilación de almidón de maíz en presencia de ácido tartárico, y se caracterizan los productos ácido tartárico (AAT) en comparación con los almidones acetilados obtenidos por la ruta convencional propuesta catalizada por hidróxido de sodio (NaOH).

El conocimiento adquirido a partir del estudio realizado permitió seleccionar dos aplicaciones concretas en las que los almidones doblemente modificados resultan de interés. La primera de ellas fue la preparación de almidones acetilados-entrecruzados para uso potencial como aditivo alimentario. La caracterización de estos almidones en comparación con almidones solamente acetilados, confirmó que la ruta propuesta permite obtener en una única etapa almidones con propiedades funcionales diferentes y características de almidones acetilados-entrecruzados. Lo anterior se logra sin la necesidad de utilizar catalizadores específicos, ni de operar a pHs alcalinos para el reticulado del almidón que podrían inducir la saponificación de los ésteres introducidos.

La posibilidad de hallar un conjunto de condiciones en las que pueda inducirse la acetilación y el entrecruzamiento del almidón con un ácido orgánico de origen natural y en una sola etapa resulta de interés en vista de los antecedentes recientes que muestran que los almidones acetilados/entrecruzados podrían tener propiedades distintas respecto de los almidones únicamente acetilados o entrecruzados. En este contexto, los almidones acetilados/entrecruzados encuentran diversas aplicaciones en la elaboración de pan, galletas, panqueques/waffles, tartas frescas para hornear, corteza de pizza, barras nutritivas, cereal, pasteles, muffins, tortillas, pretzels, pastas, y verduras enlatadas, rellenos de pasteles, enlatados, salsas, sopas condensadas, alimentos congelados, alimentos para bebés, productos cárnicos, productos lácteos, aderezos para ensaladas y bocadillos.

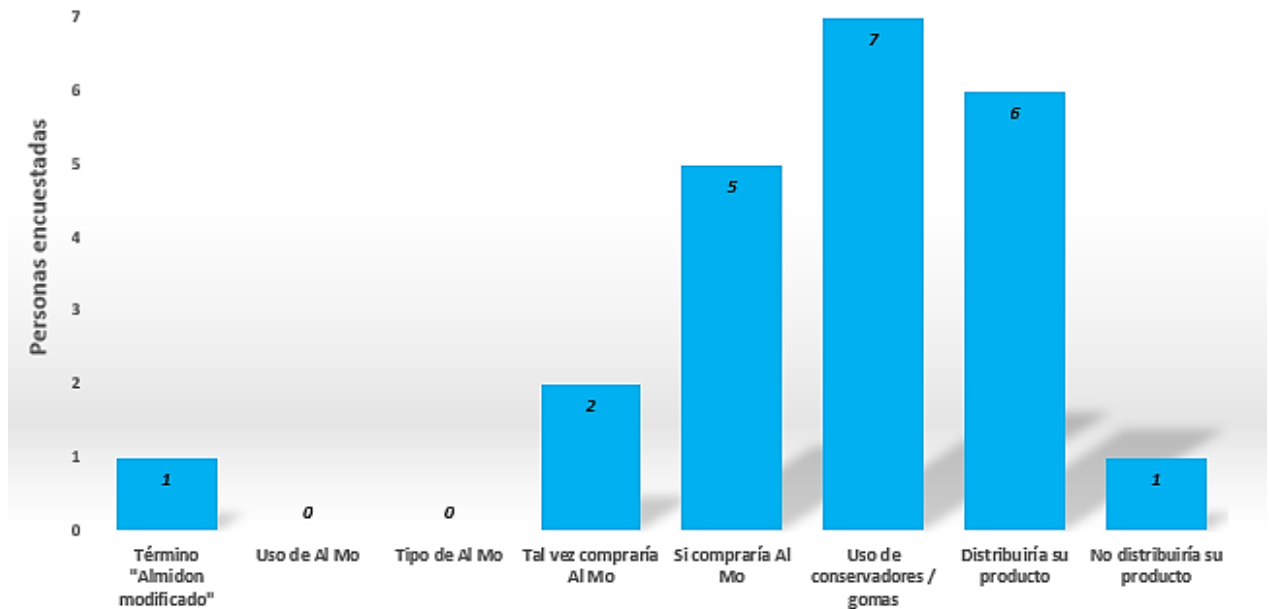
- En este trabajo se muestra que existe una mejor variante para generar almidones acetilados y entrecruzados en un mismo paso, beneficiando tiempos y reactivos para la industria que los elabora. También es una oportunidad para seguir produciendo almidones de mayor calidad, demostrando que su producción sigue en crecimiento dentro del mercado como una buena opción a utilizar.

### ***3.4 Investigación de campo***

Se realizó una encuesta (Anexo 1) a los panaderos de 7 panaderías locales del municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México considerando a tres de ellas como microempresas y a las 4 restante como medianas empresas ya que estas tienen más de una sucursal de venta. Con el fin de conocer si estas pequeñas y medianas panaderías conocían el uso de los almidones modificados para mejorar sus productos.

A partir de los resultados se analizará si el uso de almidones modificados en estas panaderías locales podría generar un beneficio, de tal forma que puedan llevar sus productos a un nivel de venta individual en tiendas de autoservicio o pequeñas tiendas de abarrotes, lo que ocasionaría una mejor competencia en el mercado donde no solo los productos panaderos industriales contengan en su formulación almidones modificados, sino también los productos de panaderías locales. Aumentando las ganancias y rango de distribución de dichas panaderías, así como también para los productores de estos almidones modificados.

En la figura 9, se presentan los resultados de las encuestas realizadas mediante un gráfico de barras



**Figura 9.** Resultados de la investigación de campo. (Al Mo = Almidón Modificado). Fuente del Autor.

Al término de las encuestas se observó que solo uno de los siete encuestados conoce el término de Almidón modificado ya que recientemente había trabajado en una empresa comercial donde se llegaba a usar estos almidones, sin embargo, no se pudo saber cuál era el tipo en específico.

Por otro lado, los demás encuestados opinaron que sería bueno que no solo los panaderos de las industrias conozcan estos tipos de aditivos, sino que ellos también pudieran saber las nuevas tecnologías para mejorar la calidad de sus productos y poder competir de mejor forma en el mercado.

Al darles a conocer la definición y las ventajas que podrían tener al usar almidones modificados, la mayoría de los encuestados dijeron que si los comprarían pues siempre están interesados a mejorar sus productos.

De igual forma se supo que todos los encuestados hacen uso de mejoradores para dar más volumen a sus productos y de harinas preparadas que ayudan al producto y que reducen tiempos de producción.

Finalmente, solo un panadero indico que no le interesaba llevar su producto a un nivel de venta individual ya que sus productos eran de venta diaria y de esta forma sus ganancias ya eran beneficiosas.

### **3.5 Análisis de resultados**

Al conocer los almidones modificados que pueden aplicarse en los productos de la industria de panificación, bollería, galletas dulces y saldas, repostería y masas congeladas, se observó que sus modificaciones son de gran ayuda para la calidad del producto final, ya que no solo ayudan a mantener estable al producto (evitando la retrogradación que tendría un almidón nativo) sino que también ayudan a darle esa textura y cuerpo característicos de cada uno de los productos mencionados, de tal forma que al consumidor le parezca atractivo al tacto y gusto porque garantizan que aun después de un tiempo de almacenamiento estos productos tendrán sus características sensoriales estables debido a su comportamiento fisicoquímico que presentan desde la hidratación y cocción del mismo almidón pues al estar modificadas su interacción con otros ingredientes será fuerte y estable. Cabe mencionar que después de analizar toda la información se observó que los más utilizados son los almidones pregelatinizados, los de enlaces entrecruzados y los hidroxipropilados ya que estos tienden a dar resultados eficaces en la mayoría de las aplicaciones de la industria alimenticia.

Dentro del análisis comparativo de los almidones modificados y los hidrocoloides, se obtuvo que los almidones por tener la capacidad de mantener sus propiedades funcionales como su gelatinización en el producto durante todo el proceso de elaboración, tener una hidratación rápida y mantener estable la textura en tiempos de congelación y descongelación se puede decir que estos contienen mayores ventajas que los hidrocoloides, siendo una mejor opción para invertir si se quiere obtener una calidad mayor en el producto aun si su proceso de elaboración son en condiciones extremas.

Una vez analizado los datos obtenidos de la investigación de campo, se observó que realmente los panaderos locales están en la completa disposición de informarse de las nuevas tecnologías alimentarias como son los almidones modificados, ya que ellos consideran que sus productos pueden brindar la misma satisfacción que los productos comerciales de la industria. Cabe mencionar que la mayoría de los panaderos indicaron que existen cursos para ellos en donde les brindan nuevas capacitaciones para mejorar su

trabajo, sin embargo, muchas veces estas capacitaciones son costeadas por los dueños de las panaderías por lo que no siempre son consideradas para sus trabajadores.

Es por esto que tomando en cuenta la gran aceptación de los clientes que suelen consumir más de estos productos locales que los de la industria y anudado a ello la disposición de los panaderos en conocer el uso de los almidones modificados, se propone implementar cursos de bajo costo en donde se brinde toda esta información teórica expuesta en este trabajo incluyendo información de empresas que pueden proveerles almidones modificados de tal forma que los panaderos locales y también los dueños de las mismas microempresas sepan de todas estas opciones que la industria usa para mejorar la calidad y vida de anaquel de sus productos.

## Conclusiones

- El almidón es uno de los componentes más importantes para la transformación de la masa a un pan, ya que este brinda textura y calidad. Debido a que ayuda a soportar la estructura del pan cuando el gluten se desnaturaliza desarrollando un complejo capaz de retener el gas producido desde la fermentación hasta el horneado. Además, se considera que por su proceso de gelatinización tiene gran influencia en la formación del alveolo de la miga del pan, determinando el volumen final del producto. Se concluye entonces que los cambios que sufre el almidón influyen fuertemente en la calidad y funcionalidad de los siguientes productos: panificación y bollería donde el almidón imparte más de la mitad del volumen final pues en la cocción los gránulos se hinchan y se agrupan. En las masas para elaborar galletas dulces y saladas, el almidón concretamente puede afectar a la expansión de la galleta. En productos de repostería su influencia está dada en la formación de la miga, haciéndola homogénea para una mejor textura y volumen. Finalmente, en las masas congeladas el almidón refleja grandes cambios de textura ocasionados por los ciclos de congelación y descongelación.
- Los almidones modificados son de gran importancia, no solo por ser un producto del mercado actual en la industria de alimentos, sino también por que brindan una amplia gama de aplicaciones como por ejemplo en los productos horneados, donde sus propiedades funcionales brindan una mayor vida de anaquel y calidad, sin importar si son productos para consumir al momento o si se almacenarán por un tiempo determinado. La tecnología de modificar a los almidones nativos es una oportunidad para poder obtener productos de una mejor calidad haciendo de ellos productos con un valor agregado. Al conocer las técnicas que se utilizan para modificar a los almidones nativos y los tipos de almidones resultantes de ellas, se observó que las ventajas que proporcionan a cada tipo de aplicación son de gran relevancia en comparación a otros aditivos que también puede ser opciones para la elaboración de estos productos horneados, sin embargo al analizar los tipos de almidones modificados, se puede concluir que los almidones pregelatinizados, los de enlaces entrecruzados y los hidroxipropilados son los más utilizados en la industria de

panificación ya que retienen la humedad dando una textura suave disminuyendo la pérdida de agua de las pastas de almidón, por evitar la separación de fases, por producir un mayor rendimiento en el batido y por retardar el enranciamiento del pan y mejorar su calidad. Cabe mencionar que, para la selección de cada tipo de almidón modificado, se requiere conocer el proceso de elaboración del producto para darle un uso adecuado y obtener los resultados esperados.

- Finalmente, con la investigación de campo se concluye que es importante que los panaderos locales también tengan conocimiento de la gran variedad de aditivos para mejorar la calidad de sus productos, pues a través de la encuesta se conoció que si estarían dispuestos a invertir en almidones modificados ya que consideran que sus productos sí entran en competencia con los productos de las grandes empresas panaderas de la industria, por lo que brindar esta información teórica planteada en este trabajo a través de algún curso, puede ser un inicio para dar a conocer de mejor forma las ventajas que tienen los almidones modificados.



## Anexo 1

En esta sección se presenta la encuesta que se aplicó en la investigación de campo la cual fue personal, es decir, presencial en todo momento, de tipo analítica y de respuestas abiertas.

1. ¿Conoce el término “Almidón modificado”?
2. ¿Usa almidones modificados en la elaboración de su(s) producto(s)?
3. ¿Qué tipo de almidón modificado usa y qué función tiene en su(s) producto(s)?
4. ¿Consideraría comprar almidón modificado para darle una mejor calidad a su(s) producto(s)?
5. Dentro de sus formulaciones para elaborar su(s) producto(s) horneado(s), ¿hace uso de ingredientes tales como conservadores y/o gomas alimenticias para favorecer la calidad de su(s) producto(s)?
6. ¿Le gustaría llevar su(s) producto(s) a un nivel de venta en tiendas de autoservicio o tiendas de abarrotes?

## Referencias

- Argel, M. (2013). "Microencapsulación de aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) utilizando almidones modificados de malanga (*Coiocasia esculenta* Schott) como material de pared mediante secado por aspersión". Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias Alimentarias, Universidad Veracruzana Instituto de Ciencias Básicas, Xalapa, Veracruz, 106 p. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46927/ArgelUlrichMonicaLizeth.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aristizábal, J., Sánchez, T. (2007). "Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca". FAO/ONU, Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s00.htm>
- Arocas, M. (2011). "Efectos del procesamiento, congelación y recalentamiento en la calidad de salsas blancas elaboradas con distintos almidones". Universidad Politécnica de Valencia, España. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=250923>
- Arroyo, M., Barrientos, A. (2014). "Elaboración y evaluación de las características organolépticas de galletas dulces integrales enriquecida a base de trigo (*Triticum vulgare*) y salvado de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) variedad blanca Junín". Tesis de licenciatura, Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional del Centro de Perú, Junín Perú, 104p. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3061/Arroyo%20Saez-Barrientos%20Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Badui, D. (2006). "Química de los alimentos". Pearson educación. 4ta edición México. 736 p. Disponible en: [https://www.academia.edu/8158400/Qu%C3%ADmica\\_de\\_los\\_alimentos\\_Cuarta\\_edici%C3%B3n](https://www.academia.edu/8158400/Qu%C3%ADmica_de_los_alimentos_Cuarta_edici%C3%B3n)
- Barrera, V., Tapia, C., Monteros, A. (2004). "Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador". INIAP. Perú. 174p. Disponible en: [https://books.google.com.mx/books?id=wu-b2\\_m8WVYC&pg=PP6&dq=barrera+2004+raices+y+tuberculos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwih04u8na7uAhUOKqwKHTI3D58Q6AEwAHoECAMQAg#v=onepage&q=barrera%2004%20raices%20y%20tuberculos&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=wu-b2_m8WVYC&pg=PP6&dq=barrera+2004+raices+y+tuberculos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwih04u8na7uAhUOKqwKHTI3D58Q6AEwAHoECAMQAg#v=onepage&q=barrera%2004%20raices%20y%20tuberculos&f=false)
- Barthelemy, C., Cornago, P., Esteban, S., Galvez, M. (2013). "La química en la vida cotidiana". Ed. UNED, Madrid, 281p. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=6UhGAqAAQBAJ&pg=PA6&dq=barthelemy+2013>

[+la+quimica+en+la+vida+cotidiana&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjAk9Cqng7uAhUDbKwKHxLAF4Q6AEwAHoECAYQAq#v=onepage&q=barthelemy%202013%20la%20quimica%20en%20la%20vida%20cotidiana&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjAk9Cqng7uAhUDbKwKHxLAF4Q6AEwAHoECAYQAq#v=onepage&q=barthelemy%202013%20la%20quimica%20en%20la%20vida%20cotidiana&f=false)

- Bedolla, S. (2004). "Introducción a la tecnología de alimentos". Ed. LIMUSA, 2da ed., México, 147p. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=V2lqmVapJWkC&printsec=frontcover&dq=bedolla+2004+introduccion+a+la+tecnologia+de+alimentos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwja8obNnq7uAhUKI6wKHZXoBIQQ6AEwAHoECAQQAq#v=onepage&q&f=false>

- Bello, L., Contreras, S., Romero, R., Solorza, J., Jiménez, A. (2002). "Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (VAR. "MACHO")". Centro de desarrollo de productos bióticos del IPN. Yautepec, Morelos. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/302/30236204.pdf>

- Boerries, E. (2014). "Caracterización y estudios de digestión *in vitro* de extruidos de almidón-goma guar". Tesis para grado de Maestro en Tecnología Avanzada, IPN, CDMX, 68p. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/15277/3/Tesis%20Ma%20PTA%202014%208P%29%20-Erich%20von%20Borries%20Medrano.pdf>

- Carmona, J., Paternina, S. (2007). "Evaluación de la modificación vía enzimática del almidón de Ñame (*Dioscorea trifida*) utilizando  $\alpha$ -amilasa (Termamyl 120 L, tipo L) para sus posibles aplicaciones industriales". Tesis de Licenciatura, Biólogo con Énfasis en Biotecnología, Universidad de Sucre, Facultad de Educación y Ciencias, 112p. Disponible en: <https://repositorio.unisucre.edu.co/jspui/bitstream/001/63/2/T664.2%20C287.pdf>

- Cano, A. (2008). "Nuevas tendencias de panificación. Temas selectos de Ingeniería en alimentos". Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Universidad de las Américas. Puebla. Disponible en: [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No2-Vol-1/TsIA-2\(1\)-Cano-Montiel-2008a.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No2-Vol-1/TsIA-2(1)-Cano-Montiel-2008a.pdf)

- Castañeda, A., González, L., Granados, M., Chávez, U. (2019) "Goma Guar: Un Aliado en la Industria Alimentaria". Publicación Semestral Padi, 7(14): 107-111.

- Chávez, A. (2015). "Obtención de almidón modificado a partir de tres cultivares de musáceas", Tesis Doctoral, Universidad de Caldas Facultad de Ciencias Agropecuarias Doctorado en Ciencias Agrarias, 39p. Disponible en: <https://doctoradoagrarias.files.wordpress.com/2016/04/andres-chavez-salazar.pdf>

- Celis, F. (2019). "Bimbo vende más pan y galletas pese a entorno 'desafiante'". Forbes, México. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/bimbo-vende-mas-pan-y-galletas-pese-a-entorno-desafiante/>
- Delgado, Y. (2018) "Aplicaciones de almidones nativos y modificados en la industria láctea y cárnica". Tesis de Licenciatura, Ingeniero en Industrias Alimentaria, Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Industrias Alimentarias, Perú, 41p. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3294/delgado-rimas-yenny.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Enríquez, M. (2012). "Obtención y caracterización de películas activas obtenidas por extrusión de almidón modificado de yuca (*Manihot sculenta Crantz*)". Tesis de Licenciatura, Ingeniería en Alimentos, Universidad del Valle, Cali, 101p.
- FAO. (1999). "Los carbohidratos en la nutrición humana". Estudio FAO alimentación y nutrición 66. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. Disponible en: [https://books.google.com.mx/books?id=FZ\\_ed5pkNdoC&pg=PA76&dq=propiedades+funcionales+del+almidon&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiD3YXJ1vnsAhUQSK0KHWX\\_CtcQ6AEwBHoECAMQAq#v=snippet&q=almidon%20modificacado&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=FZ_ed5pkNdoC&pg=PA76&dq=propiedades+funcionales+del+almidon&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiD3YXJ1vnsAhUQSK0KHWX_CtcQ6AEwBHoECAMQAq#v=snippet&q=almidon%20modificacado&f=false)
- Flecha, M. (2015). "Procesos y técnicas de panificación". Disponible en: [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-05-26\\_11-46-57140882.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-05-26_11-46-57140882.pdf)
- García, F. (2009). "Estudio comparativo del efecto de la adición de almidón modificado en un pan tipo "muffin" horneado en microondas y convencionalmente". Tesis de grado de Maestro en ciencias quimicobiológicas, IPN, México, D.F. 75 p.
- Garzón, M. (2006). "Almidón retrogradado para uso en compresión directa. I. Caracterización y pregelatinización del almidón de chayote". Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 37(1): 18-28.
- Gil, A. (2010). "Tratado de nutrición". Ed. Panamericana, ed. 2da, Madrid, 725 p. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=R3xHftuSHp4C&printsec=frontcover&dq=Tratado+de+nutrici%C3%B3n&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjl-s3Mp67uAhWjuVkkHQKTAkcQ6AEwAHoECAAQAq#v=onepage&q=Tratado%20de%20nutrici%C3%B3n&f=false>
- Gonzales, G. (2012). "Desarrollo de productos con alto contenido de almidón para la industria de alimentos". Fundación Universitaria Agraria de Colombia. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA Amarti Foods S.A.S. Bogotá. 36 p. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/309397537\\_Desarrollo\\_de\\_productos\\_con\\_alto\\_contenido\\_de\\_almidon\\_para\\_la\\_industria\\_de\\_alimentos](https://www.researchgate.net/publication/309397537_Desarrollo_de_productos_con_alto_contenido_de_almidon_para_la_industria_de_alimentos)

- Larrosa, V. (2014). "Efectos de los hidrocoloides en las características fisicoquímicas y reológicas de pastas libres de gluten aptas para individuos celíacos". Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Plata, Facultad de las Ciencias Exactas, Departamento de química, 2016p.
- López, A. (2008). "Estudio comparativo de la funcionalidad de diversos derivados de celulosas como agentes estructurales en alimentos libres de gluten". Tesis de Maestría, Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia. 16p.
- Martín, D., Cárdenas, O., Constantino, J. (2012). "Sustancias utilizadas como agente gelificante alternativas al agar en medios de cultivo para propagación in vitro". Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 3(2): 49-62.
- Martínez, L. (2007). "Obtención y caracterización de almidones de malanga, arroz y maíz ceroso modificados por extrusión termoplástica para su uso como encapsulantes de aceite esencial de naranja". Tesis de Maestría en Ciencias Alimentarias, Universidad Veracruzana Ciencias, Instituto de Ciencias Básicas, Veracruz, 103p.
- Martínez, F., López, M., Zazueta, J., Morales, E. (2005). "Preparación y propiedades de almidones pregelatinizados de yuca (*Manihot esculenta*. Crantz) y jícama (*Pachyrhizus erosus*) usando calentamiento óhmico". Agrociencia 2(39): 275-283.
- Matos, A., Payahuanca, I. (2011). "La formación de la masa, la fermentación y los métodos de proceso en la elaboración del pan". Congreso Nacional de Investigación. Universidad Peruana Unión. Lima.
- Mesas, J., Alegre, M. (2002). "El pan y su proceso de elaboración". Ciencia y Tecnología Alimentaria. Vol. 3 (5): 307-313. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/724/72430508.pdf>
- Mercados y Tendencias. (2019). "Visión Global del Mercado del Pan". Disponible en: <http://www.mercadosytendencias.cl/mercados-y-tendencias/actualidad/datos-de-mercado/vision-global-del-mercado-del-pan/762>
- Mohan, M., Díaz, M., Castro, M. (2001). "Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo: un enfoque multidisciplinario". La Estanzuela, Uruguay, 397p. Disponible en:

<https://books.google.com.mx/books?id=FNf9uld02nsC&printsec=frontcover&dq=estrategias+y+metodologias+utilizadas+en+el+mejoramiento+de+trigo:+un+enfoco+multidisciplinario&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiliPy-v-zsAhUZO0KHSz2Dc4Q6AEwAHoECAEQAg#v=onepage&q=almidon%20modificado&f=false>

- Mollejo, V. (2020). "Goma xantana, el aditivo bajo en grasas que sustituye al gluten". Fecha de consulta: Diciembre del 2020. Disponible en:

[https://www.alimente.elconfidencial.com/consumo/2020-05-10/goma-xantana-usos-beneficios\\_1754146/](https://www.alimente.elconfidencial.com/consumo/2020-05-10/goma-xantana-usos-beneficios_1754146/)

- Montoya, D., Murillo, W., Barbosa, L., Méndez, J. (2015). "Acetilación enzimática de almidones: una opción de valor agregado". Tumbaga. 1(10): 88-107.

- Osorio, P., Hernández, M., Bravo, G., Sánchez, M. (2020). "Calidad y estructura de un pan sin gluten: efecto del tipo de hidrocoloide, proteína y harina pregelatinizada". Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 5(8): 397- 402. Disponible en: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/8/79.pdf>

- Pasquel, A. (2001). "Gomas: una aproximación a la industria de alimentos". Revista Amazónica de Investigación Alimentaria, 1(1): 1 – 8.

- Ponzio, N. (2010). "Calidad panadera de variedades de trigo puras y sus mezclas. Influencia del agregado de aditivos". Tesis de Magíster Scientiae, Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos, 168p. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/19948/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/19948/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Ramos, M., Romero, C., Bautista, S. (2018). "Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas". Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. AITEP. 19(1). 15p. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/813/81355612003/html/index.html>

- Raymundo, T., Romani, J. (2016). "Efecto de la temperatura de almacenamiento, humedad y permeabilidad del envase en la estabilidad de los parámetros de calidad sensorial, fisicoquímica y microbiológica del pan de camote (*Ipomoea batata*)". Tesis de Licenciatura, Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional del Centro de Perú, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Perú, 65p. Disponible en: [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1588/Raymundo%20Yauri%20-%20T010\\_46572110\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1588/Raymundo%20Yauri%20-%20T010_46572110_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Ribotta, P. (2002). "Estudio de las transformaciones físico - químicas que se producen durante el procesamiento de las masas congeladas". Tesis de doctorado, universidad nacional de la plata facultad de ciencias exactas, Córdoba, 173p.
- Rodríguez, M. (2009). "Efecto de tres agentes entrecruzantes sobre las propiedades fisicoquímicas y características morfológicas del almidón de plátano". Tesis de Maestría, Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos, IPN, Morelos, 68p.
- Rojas, E. (2012). "Desarrollo de un sistema sustituto de la goma xantana para reducir costos en mayonesas y aderezos emulsionados". Tesis de licenciatura, Ingeniería de Alimentos, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Escuela de Tecnología de Alimentos. Costa Rica, 45p. Disponible en: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2587/1/34600.pdf>
- Salas, W., Elías, C., Mendiburu, F., Cruz, W. (2011). "Estimación del tiempo de vida útil de pan de molde con incorporación de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y suero, usando la distribución de Weibull". Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú. Anales Científicos, 72 (1): 27-33.
- Sánchez, M. (2004). "Modificación por oxidación del almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y su caracterización parcial". Tesis de Maestría, Ciencias de Desarrollo de Productos Bióticos, IPN, Morelos, 76p.
- Sánchez, D., González, J., Osella, A., Torres, L. (2008). "Elaboración De Pan Sin Gluten Con Harinas De Arroz Extrudidas. Ciencia y Tecnología Alimentaria", 6(2): pp. 109-116. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/724/72411971004.pdf>
- Sciarini, L. (2011). "Estudio del efecto de diferentes aditivos sobre la calidad y la conservación de panes libres de gluten. Tesis doctoral, Universidad Nacional de la Plata Facultad de Ciencias Exactas Departamento de Ciencias Biológicas, 179p. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/15759828.pdf>
- Synergy Biotech. (2014). "Evaluación y determinación de vida de anaquel". Fecha de consulta: Enero del 2021. Disponible en: <https://www.synergy-biotech.com/evaluacion-y-determinacion-de-vida-de-anaquel.php>
- Torres, K. (2007). "Optimización de la etapa de hidrolisis acida en el proceso de fosfatación de almidón por extrusión para la encapsulación de aceite esencial de naranja". Tesis de Licenciatura, Química en Alimentos, UAEH, Instituto de ciencias básicas e ingeniería, Hidalgo, 74p. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Optimizacion%20de%20la%20etapa%20de%20hidrolisis%20acida.pdf>

- Tupa, M. (2015). "Desarrollo de una metodología sostenible de síntesis de almidones acetilados". Tesis de Maestría, FCEN-UBA, Buenos Aires, 145p. Disponible en: [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n5826\\_TupaValencia.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5826_TupaValencia.pdf)
- Tupa, M. (2019). "Modificación organocatalítica de almidón para la obtención sostenible de derivados de alto valor agregado", Tesis doctoral, Instituto de Tecnología en Polímeros y nanotecnología, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 193p. Disponible en: [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/81107/CONICET\\_Digital\\_Nro.c9f6a8d7-e72b-43a7-8fe9-aa27a87b20c7\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/81107/CONICET_Digital_Nro.c9f6a8d7-e72b-43a7-8fe9-aa27a87b20c7_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Valdés, S. (2006). "Hidratos de carbono. En: Química de los alimentos", (Badui, S). Pearson. Pat. 81-92. Cuarta edición. Disponible en: [https://www.academia.edu/8158400/Qu%C3%ADmica\\_de\\_los\\_alimentos\\_Cuarta\\_edici%C3%B3n](https://www.academia.edu/8158400/Qu%C3%ADmica_de_los_alimentos_Cuarta_edici%C3%B3n)
- Vera, F. (2011). "Determinación de las condiciones de uso del almidón modificado en el mejoramiento de fórmulas alimenticias". Tesis de Licenciatura, Ingeniería en Alimentos, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Ecuador, 41p. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16214/1/D-90278.pdf>
- Yakult. (2019). "¿Para qué sirve el almidón modificado en los alimentos?" Fecha de consulta: Diciembre del 2020. Disponible en: <https://www.yakult.com.mx/2019/03/18/para-que-sirve-el-almidon-modificado-en-los-alimentos/>