

2  
Zeje



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



V N A M

OBTENCION Y EVALUACION DE ALMIDON NATIVO Y  
MODIFICADO A PARTIR DE PAPA ALFA DE BAJA  
CALIDAD COMERCIAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A N

**LAURA OLIVIA | CAO ROMERO VELASCO**  
**NIDIA RAQUEL GONZALEZ DIAZ**

ASESOR: DRA. SARA E. VALDES MARTINEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1994

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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 está 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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

OBTENCION Y EVALUACION DE ALMIDON NATIVO Y MODIFICADO A  
PARTIR DE PAPA ALFA DE BAJA CALIDAD COMERCIAL

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTAN:  
LAURA OLIVIA CAO ROMERO VELASCO  
NIDIA RAQUEL GONZALEZ DIAZ

ASESOR: DRA. SARA E. VALDES MARTINEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
SECRETARIA ACADEMICA  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT\*N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Co base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos  
permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Obte ón y evaluación de almidón nativo y modificado a p. tir de papa  
alfa de baja calidad comercial.

que presenta la pasante: Laura Olivia Cao Romero Velasco  
con número de cuenta: 8312715-5 para obtener el TITULO de:  
Ingeniera en Alimentos ; en colaboración con :  
Nidia Raquel González Díaz

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para  
ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos  
nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 24 de Noviembre de 1993

PRESIDENTE I.B.Q. J. Francisco Montiel Sosa

VOCAL I.B.Q. Norma B. Casas Alencaster

SECRETARIO Dra. Sara E. Valdés Martínez

PRIMER SUPLENTE I.A. Rosalia Meléndez Pérez

SEGUNDO SUPLENTE M.C. Nidia Aragón Salgado



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
SECRETARIA ACADEMICA  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



Departamento de  
Exámenes Profesionales

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Obtención y evaluación de almidón nativo y modificado a partir de pa  
alfa de baja calidad comercial.

que presenta la pasante: Nidia Raquel González Díaz

con número de cuenta: 8312955-1 para obtener el TITULO de:  
Ingeniera en Alimentos ; en colaboración con :  
Laura Olivia Cao Romero Velasco

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx. a 24 de Noviembre de 1993

PRESIDENTE I.B.Q. J. Francisco Montiel Sosa

VOCAL I.B.Q. Norma B. Casas Alencaster

SECRETARIO Dra. Sara E. Valdés Martínez

PRIMER SUPLENTE I.A. Rosalía Meléndez Pérez

SEGUNDO SUPLENTE M.C. Nidia Aragón Salgado

## AGRADECIMIENTOS

Ninguna palabra expresa más amplamente tanto, por eso no puedo decir sino GRACIAS....

A mis padres, porque aún en la distancia me han hecho sentir su amor, su confianza y su apoyo en cada paso que he dado.

A mis tios Clemencia y Leopoldo, porque sin su cariño y ayuda esto no hubiera sido posible.

A mis tios, Evencio, Javier, Ma. Elena, Lola y Luis; quienes me han mostrado el verdadero significado de una familia, con la que siempre he podido contar.

A mi hermano y primos por su confianza.

A mis abuelitas Josefina q.e.p.d. y Aurelia por ese amor que motiva y alienta.

A mis amigas:

Nidia, por esa amistad incondicional de tanto tiempo.

Laty, por todo lo que me enseñaste y por tanto valor.

Laura V., por tu paciencia.

Chivis, por tu entrega y coraje.

y porque todo lo que hemos compartido nos ha unido de una manera especial, en un vínculo imborrable.

A Sara por su ayuda y consejo.

A Don Antonio, Fabiola y Roberto, por su apoyo y su amistad.

A todas las personas que con su paso por mi vida han dejado huella y que de alguna manera me han ayudado a alcanzar esta meta.

Laura

Porque ustedes hicieron posible este momento, gracias...

... A mis Padres, por su enseñanza de amor, entrega y superación, que me acompaña en todos los momentos de mi vida.

... A mis hermanos y sobrinos, por el cariño de siempre, que me impulsa a seguir adelante.

... A mis familiares y amigos, por creer en mí.

... A Pedro, mi hermano, por la senda señalada y la ayuda en los momentos difíciles.

... A Mely, la mejor de mis amigas.

... A Sara y Roco, por el apoyo constante y la amistad incondicional.

... A Laura V., Lety y Silvia, por tantos buenos momentos y por todo lo que hemos compartido.

... A Laura C., por alcanzar juntas esta meta y por la amistad que nos ha unido siempre.

... A Juan, porque a lo largo del camino has sido siempre un apoyo vital y una fuente constante de ánimo y energía.

... A Ti, con amor, por tu presencia.

Nydia

## I N D I C E

NOMBRE	PAGINA
RESUMEN .....	i
INTRODUCCION .....	1
JUSTIFICACION .....	2
OBJETIVOS .....	3
CAP. 1 GENERALIDADES	
1.1.- ASPECTOS GENERALES DE LA PAPA .....	4
1.2.- ANALISIS DE LA PRODUCCION DE PAPA .....	12
1.3.- CARACTERISTICAS DEL ALMIDON .....	20
1.4.- PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDON .....	33
1.5.- PROCESO DE OBTENCION DE ALMIDON DE PAPA .....	42
1.6.- ALMIDONES MODIFICADOS .....	57
CAP. 2 METODOLOGIA	
2.1.- DESGLOSE DE ACTIVIDADES EXPERIMENTALES .....	77
CAP. 3 RESULTADOS	
3.1.- ANALISIS DE RESULTADOS .....	87
CONCLUSIONES .....	117
RECOMENDACIONES .....	119
ANEXO 1 : NORMA DE CALIDAD PAPA ALFA .....	120
ANEXO 2 : TECNICAS DE ANALISIS UTILIZADAS .....	127
BIBLIOGRAFIA .....	133

## INDICE DE CUADROS

NUMERO	DESCRIPCION	PAGINA
1	Composición de la papa.....	5
2	Componentes menores de la papa.....	6
3	Enfermedades de la papa.....	11
4	Producción Nacional de papa.....	13
5	Composición típica del almidón de diferentes fuentes.....	30
6	Temperaturas de gelatinización de almidones nativos.....	36
7	Características y propiedades funcionales de algunos almidones.....	41
8	Tipos de jarabes.....	70
9	Propiedades funcionales y usos de los jarabes de maíz.....	70
10	Características y aplicación de los almidones modificados.....	75
11	Efecto del tamaño y tiempo de extracción en el rendimiento de almidón (%).....	87
12	Comparación de RV con f de tablas para tiempo de extracción y tamaño de partícula .....	90
13	Resultados de viscosidad máxima promedio	93
14	Comparación de RV con f de tablas para viscosidades máximas variando conc. y pH. Almidón nativo.....	95
15	Composición del almidón.....	95
16	Fuerza de gel (dinas/cm <sup>2</sup> ).....	97

17	Tiempo de reacción para un porcentaje de acetilos de 2.5%.....	98
18	Desarrollo de la reacción de acetilación (% de acetilos obtenido).....	98
19	Comparación de RV con f de tablas para la reacción de acetilación.....	100
20	Ecuación de la recta para las reacciones de acetilación.....	103
21	Viscosidad máxima de acetatos de almidón a diferentes pH y concentraciones.....	106
22	Comparación de RV con f de tablas para viscosidades máximas de acetatos de almidón a diferentes pH y conc.....	108
23	Rangos entre medias para la viscosidad máxima de acetatos de almidón a diferentes niveles de pH y conc.....	108
24	Efecto del pH y concentración de almidón en la viscosidad máxima de almidón pregelatinizado.....	110
25	Comparación de RV con f de tablas para la viscosidad máxima de almidón pregelatinizado.....	112
26	Composición del almidón pregelatinizado.	112
27	Comparación de rangos entre medias con RP para los tres tipos de almidón.....	116

## INDICE DE FIGURAS

NUMERO	DESCRIPCION	PAGINA
1	Esquema de la papa.....	8
2	Producción nacional de papa.....	13
3	Destino de la producción de papa en Sinaloa.....	16
4	Destino de la producción de papa en Puebla.....	18
5	Aspecto de diferentes gránulos de almidón.....	23
6	Representación esquemática del almidón..	24
7	Estructura de la amilosa.....	26
8	Modelo de racimos de la amilopectina....	27
9	Estructura molecular de la amilopectina.	28
10	Diagrama de gelatinización con calentamiento.....	35
11	Influencia de la concentración de almidón sobre la viscosidad desarrollada	38
12	Proceso de obtención de almidón de papa.	43
13	Lavadores.....	45
14	Pelador por abrasión.....	47
15	Pelador rotatorio con hidróxido de sodio.....	48
16	Molino de martillos.....	50
17	Separador rotatorio.....	51
18	Separador centrífugo.....	52
19	Secador de tambor rotatorio.....	53

20	Secador de charolas.....	54
21	Secador por aspersión.....	55
22	Reacción de hidrólisis.....	60
23	Reacción de oxidación.....	62
24	Reacción con difosfato.....	64
25	Reacción con ácido adípico.....	64
26	Reacción con óxido de propileno.....	65
27	Reacción con anhídrido acético.....	65
28	Cuadro metodológico experimental.....	77
29	Proceso de obtención de almidón a nivel laboratorio.....	79
30	Esquema de la determinación de fuerza de gel.....	83

## INDICE DE GRAFICAS

NUMERO	DESCRIPCION	PAGINA
1	Influencia del tiempo de extracción en el rendimiento de almidón.....	88
2	Influencia del tamaño de partícula sobre el rendimiento de almidón.....	89
3	Desarrollo de viscosidad durante el calentamiento gradual con diferentes tamaños de partícula.....	91
4	Desarrollo de viscosidad durante el calentamiento gradual diferentes niveles de pH.....	92
5	Desarrollo de viscosidad al incrementar la concentración a diferentes niveles de pH.....	94
6	Comparación de la viscosidad desarrollada durante el calentamiento gradual entre almidón nativo experimental y nativo comercial.....	96
7	Porcentaje de acetilos alcanzado respecto al tiempo de extracción.....	99
8	Reacción de acetilación con 25 % de ácido acético.....	102
9	Reacción de acetilación con 75% de ácido acético.....	103
10	Desarrollo de viscosidad durante el acetatos de almidón, 5% .....	105
11	Efecto de la concentración y pH en la viscosidad máxima de acetatos de almidón.	107
12	Desarrollo de viscosidad durante el calentamiento gradual, almidón pregelatinizado, 5% .....	109

13	Efecto de la concentración y pH en la viscosidad máxima de almidón pregelatinizado.....	111
14	Desarrollo de viscosidad durante el calentamiento gradual comparación entre almidones, 5%, pH 6.....	113
15	Comparación de viscosidad máxima respecto a concentraciones para los diferentes tipos de almidón.....	115

## RESUMEN

La principal limitante para la obtención de almidón de papa, es el costo de la materia prima, que origina su canalización hacia otro tipo de procesos, que resultan más rentables.

En México, a pesar de ser uno de los principales productores de papa, no se cuenta con ninguna planta de obtención de almidón, importando totalmente el que se utiliza en la industria. Por otro lado, las mermas durante la producción y comercialización de papa son alrededor de un 30 %, ocasionando pérdidas millonarias a los productores.

Por lo anterior, es de gran importancia encontrar un sistema de aprovechamiento de la papa no apta para su comercialización en fresco, por estar fuera de los estándares de calidad, siendo la obtención de almidón y su modificación, una buena opción para su utilización como materia prima.

El presente trabajo se enfocó a la obtención y evaluación funcional y fisicoquímica de almidón de papa nativo y modificado, a nivel laboratorio, a partir de papa alfa de baja calidad comercial.

Para la optimización de las condiciones de extracción de almidón, se experimentó con tres niveles de variación de tamaño de partícula, y con tres diferentes tiempos de extracción, seleccionados a partir de los resultados obtenidos en estudios preliminares.

Como materia prima se utilizó papa alfa de baja calidad comercial (de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana) controlando su procedencia (Los Mochis, Sinaloa).

Se determinó el rendimiento de las operaciones de obtención de almidón a través del porcentaje extraído del mismo, para cada par de niveles manejados en la experimentación con las variables tamaño de partícula y tiempo de extracción.

Para la caracterización del almidón, se elaboraron dispersiones a tres diferentes concentraciones y tres niveles de pH, para evaluar la influencia de estos factores sobre el desarrollo de sus propiedades funcionales, específicamente propiedad espesante (midiendo la viscosidad máxima desarrollada durante el calentamiento gradual de las dispersiones) y propiedad gelificante (evaluando la fuerza de gel).

En base a la caracterización funcional se pudo observar que los acetatos de almidón obtenidos presentan una mayor estabilidad frente al calentamiento y pH ácido, que el almidón nativo, sin existir diferencia en los niveles de viscosidad máxima alcanzados, comprobándose la viabilidad del empleo de almidón extraído a partir de papa alfa de baja calidad comercial, como materia prima para la obtención de acetatos de almidón.

Como modificación física, dado su amplio campo de aplicación y el ahorro que representa en procesos industriales, se seleccionó la pregelatinización del almidón, estudiándose a través de dos sistemas: aplicación de calor y uso de NaOH y KOH a tres niveles de concentración, para gelatinización en frío.

La gelatinización mediante calor se realizó manteniendo constantes las condiciones del tratamiento (agitación y temperatura); empleándose los mismos niveles de agitación para la gelatinización en frío.

El secado del almidón pregelatinizado se hizo con el método de estufa.

En la caracterización del almidón pregelatinizado con calor se observó un desarrollo de viscosidad bajo, de alrededor del 30% de la viscosidad desarrollada por el almidón nativo, cuando se esperaban valores de aproximadamente un 80%, asumiéndose un daño durante la etapa de secado.

Por otro lado en la curva de viscosidad contra temperatura se registró un incremento al alcanzar la temperatura de gelatinización, lo cual indica que la pregelatinización realizada no fue completa.

En la gelatinización en frío se observó la formación de un gel más claro y completo a las concentraciones de reactivo mayores, siendo más notorio este comportamiento con el NaOH; sin embargo, no se logró comprobar el nivel de gelatinización alcanzado ni las características del almidón, ya que no se tuvo un secado completo y uniforme por la plasticidad del gel y el método de secado empleado.

Por lo anterior se recomienda concluir el estudio de pregelatinización en trabajos posteriores con el empleo de un método de secado más adecuado a las características del gel.

La combinación de tiempo de extracción y tamaño de partícula más conveniente fue: tiempo = 20 min., tamaño = 1.0 mm, con la cual se obtuvo un rendimiento del 92.24 %.

Respecto a la caracterización funcional y fisicoquímica, los resultados obtenidos fueron similares a los del almidón comercial en todos sus parámetros, comprobándose que puede emplearse papa alfa de baja calidad comercial como materia prima para la obtención de almidón.

Dentro de la modificación de almidones, la obtención de acetatos de almidón es una de los procesos químicos más difundidos por la estabilidad que se le confiere al almidón y su amplio campo de aplicación, especialmente a almidones con las características del almidón de papa, por lo que se seleccionó para analizar las diferentes variables involucradas en el proceso y el uso potencial de almidón de papa nativo obtenido a partir de papa alfa de baja calidad comercial como materia prima, para la disminución de costos globales de proceso.

Durante la experimentación se emplearon dos concentraciones del agente de acetilación (ácido acético glacial), con y sin catalizador, (cloruro de zinc al 1% en peso respecto al almidón).

Como variables de respuesta se tuvo el tiempo de reacción en el cual se obtiene un nivel de sustitución de 2.5% de acetilos, y el desarrollo de las propiedades funcionales, ante la variación de concentraciones y niveles de pH.

Se pudo apreciar en base a la experimentación realizada, que existe una relación directa del porcentaje de acetilos obtenido, con respecto al tiempo.

Aunque no se presenta diferencia significativa estadísticamente, un incremento en la concentración del ácido acético y el uso de catalizador, reducen el tiempo de reacción, por lo que resultan determinantes para el análisis global de costos de proceso de acetilación.

Las mejores condiciones de reacción para la obtención de acetatos de almidón de papa a nivel laboratorio fueron:

- Uso de cloruro de zinc (1%) como catalizador.
- Concentración de ácido acético = 75 % (en base al almidón).
- Tiempo de reacción = 2 hrs.

## INTRODUCCION

El cultivo de la papa se encuentra ampliamente extendido en el mundo y su consumo en fresco o procesada se ha incrementado con el paso del tiempo.

Uno de los subproductos más importantes de la papa es el almidón, que es un aditivo ampliamente utilizado en gran diversidad de productos en la industria química y de alimentos (27).

El empleo de éste ha aumentado en los últimos años, lo cual ha provocado un crecimiento en las importaciones nacionales ya que la producción de almidón en México resulta insuficiente.

Aunque el almidón puede obtenerse de diversas fuentes tales como maíz, yuca, trigo y otras, el almidón de papa reviste un especial interés dadas las características tanto de composición como funcionales de éste (12) y las condiciones de producción de papa en nuestro país. La importancia del almidón como aditivo se incrementa si es modificado, ya que de esta modo además de ampliar su campo de aplicación, se pueden controlar de mejor manera las propiedades que desarrolla así como su manejo (13).

El almidón de papa, dependiendo del tipo de modificación que se le realice, puede emplearse en la industria del papel, textiles, adhesivos, farmacéutica y alimenticia, lo que representa una gran posibilidad de mercado, además puede obtenerse a partir de papa denominada como papa de segunda, considerada como merma (32).

Tomando en cuenta lo anterior, el presente trabajo se enfoca al estudio de los aspectos químicos y tecnológicos involucrados en la modificación del almidón de papa y sus posibilidades de utilización en la industria alimentaria, contrastándolo con el almidón nativo, empleando como materia prima papa alfa considerada como de baja calidad.

## JUSTIFICACION

En México la papa se produce en varios estados y se encuentra disponible todo el año; sin embargo, las mermas son considerables (alrededor de un 30 %), resultando para 1990 un total de 268,315.5 Ton. (1,9) que redundan en alrededor de N\$ 80,500,000 por lo que un proceso industrial que aproveche esta papa de baja calidad comercial, reduciendo las pérdidas, resulta interesante y de suma importancia.

En 1990 se realizó un trabajo enfocado a la obtención de almidón con papa alfa de merma a nivel laboratorio, con buenos resultados (32); sin embargo es necesario continuar la investigación hacia la modificación de estos almidones utilizando diferentes métodos, con el fin de evaluar sus propiedades funcionales y posibilidades de aplicación.

Dado que el almidón de papa no se produce en México y todo el que se emplea en la industria es de importación introduciéndose al país generalmente ya modificado; resulta importante completar los estudios referidos a la obtención del almidón con los procesos de modificación y sus aplicaciones, para abrir la posibilidad de instalación de plantas de obtención de almidón de papa modificado a partir de papa de merma.

El presente trabajo permitirá tener un panorama más completo del potencial de uso de la papa que no reúne los parámetros de calidad establecidos en la Norma Oficial mexicana, como fuente de obtención de almidones de buena calidad, con la subsecuente reducción de importaciones y mejor aprovechamiento de las cosechas.

Además, cabe señalar que la mayoría de los almidones modificados utilizados actualmente por la industria mexicana provienen del almidón de maíz, por lo que la modificación del almidón de papa, constituye una buena opción en el empleo de estos aditivos.

**OBJETIVO GENERAL:**

Realizar la obtención y evaluación funcional y fisicoquímica del almidón de papa nativo y modificado, a partir de papa alfa de baja calidad comercial.

**OBJETIVOS PARTICULARES:**

1. Obtener almidón a partir de papa alfa de baja calidad comercial.
2. Establecer las condiciones de proceso para la modificación por acetilación y pregelatinización del almidón nativo obtenido a nivel laboratorio.
3. Caracterizar los almidones nativo y modificados en base a parámetros fisicoquímicos y funcionales.

## 1.1.- ASPECTOS GENERALES DE LA PAPA

### DEFINICION

La papa Solanum tuberosum es un tubérculo carnosos y feculento, de la familia de las solanáceas, originaria de América del Sur (Chile y Perú) y conocida también en algunas regiones como patata (9).

Su cultivo fué introducido en 1534 a España y actualmente se encuentra extendido a todo el mundo, constituyendo uno de los principales productos hortícolas en cuanto a volúmenes de producción, ya que la variedad de productos y aplicaciones que caracterizan a la papa, su corto ciclo de producción y amplia disponibilidad, así como su alto rendimiento agrícola y su apreciado sabor han contribuido a incrementar grandemente el consumo mundial de ésta, así como el interés en el aprovechamiento integral de la papa (19).

### COMPOSICION

Para optimizar el uso de este tubérculo resulta necesario conocer el aporte nutricional y funcional de sus componentes. La composición de la papa se ve afectada por numerosos factores tanto de cultivo como de manejo y almacenamiento. Algunos de estos factores son: variedad, zona y prácticas de cultivo, estado de madurez, condiciones de almacenamiento, así como preparación de la muestra (entera o sin piel) y métodos de análisis utilizados (36).

Por lo anterior, puede haber una gran variación en el porcentaje de los componentes de la papa, aunque se puede considerar una composición aproximada, en base a los siguientes intervalos, para la papa blanca (3).

Cuadro 1. Composición de la papa

COMPONENTE	% PROMEDIO	INTERVALO
Agua	77.50	63.20 - 86.90
Sólidos totales	22.50	13.10 - 36.80
Proteína	2.00	0.70 - 4.60
Grasa	0.10	0.02 - 0.96
Almidón	17.30	13.30 - 30.53
Azúcares	1.50	1.30 - 2.00
Fibra cruda	0.60	0.17 - 3.48
Cenizas	1.00	0.44 - 1.90

Fte. Talburt, F.W.; Potato processing, AVI Pub. Co., USA  
pág. 13 (35)

Como se puede apreciar, el intervalo en el que es posible encontrar los diversos componentes es muy amplio, por lo que estos datos deben tomarse únicamente como aproximación, recomendándose el análisis de la variedad a manejar, para estudios más específicos (14).

Sin embargo; como se observa en los datos del cuadro 1, el mayor componente es el agua, seguido del contenido de carbohidratos de los cuales el almidón ocupa la mayor parte de éstos, comprendiendo del 60 al 80 % del peso seco total del tubérculo y constituyendo el componente más importante desde el punto de vista de aporte calórico.

En lo que se refiere al aporte nutricional, en la papa se encuentran compuestos pertenecientes a todos los grupos de nutrientes, lo que hace que sea una buena opción para complementar la dieta diaria.

El contenido de almidón se ve afectado principalmente por las variedades de papa y las condiciones de almacenamiento, ya que las prácticas de cultivo y fertilizantes utilizados no influyen significativamente (34).

Respecto al contenido de azúcares, se tiene que este puede variar en un intervalo de 1/3 a 1/2 del contenido de sólidos diferentes de almidón. Los dos factores principales que influyen en la cantidad de azúcares presentes son la variedad y la temperatura.

Los azúcares presentes en la papa son glucosa, fructosa y sacarosa, cuya relación depende del tiempo de almacenamiento y de la temperatura; si esta es menor a 15 °C la sacarosa se acumula rápidamente y con almacenamientos prolongados, la relación sacarosa/azúcares reductores se incrementa conforme se reduce la temperatura (21).

Se encuentran también pequeñas cantidades de maltosa, xilosa, rafinosa, melibiosa, así como componentes tales como tirosina, ácido ascórbico, inositol y otros, los cuales se han detectado por medio de cromatografía (23).

En cuanto a carbohidratos no digeribles, pueden distinguirse los siguientes: lignina y suberina en la piel, celulosa, (del 10 al 20 % de los polisacáridos diferentes de almidón), substancias pécticas, (0.7 a 1.5 % de los sólidos de papa) hemicelulosa y otros polisacáridos. Se considera para fibra alrededor de un 1.0 % de la materia seca de la papa (3).

Respecto a los componentes menores, especialmente en lo referente a minerales presentes en la papa se tienen los siguientes datos, referidos al contenido total de cenizas.

Cuadro 2. Componentes menores de la papa

MINERAL	% PROMEDIO	INTERVALO
K <sub>2</sub> O	56.0	43.95 - 53.61
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.0	6.83 - 27.14
SO <sub>4</sub>	6.0	0.44 - 10.69
MgO	4.0	1.32 - 13.58
Na <sub>2</sub> O	3.0	0.07 - 16.93
CaO	1.5	0.42 - 8.19
SiO	1.0	0.16 - 8.11

Fte. Talburt F., W. Potato processing, AVI Pub. Co., USA  
pág. 14 (35)

Otros componentes menores de la papa son los fenoles y substancias relacionadas con éstos, los cuales se asocian con el color de los tubérculos y son responsables de ciertos tipos de oscurecimiento en el procesamiento de algunos productos de la papa, especialmente la tirosina al ser oxidada por la polifenoloxidasas, produciéndose pigmentos oscuros conocidos como melaninas (35). En lo referente a las sustancias nitrogenadas, que constituyen del 1 al 2 % de los sólidos de la papa, se tiene

aproximadamente un 90 % de sustancias solubles, asociándose el resto a componentes de la piel.

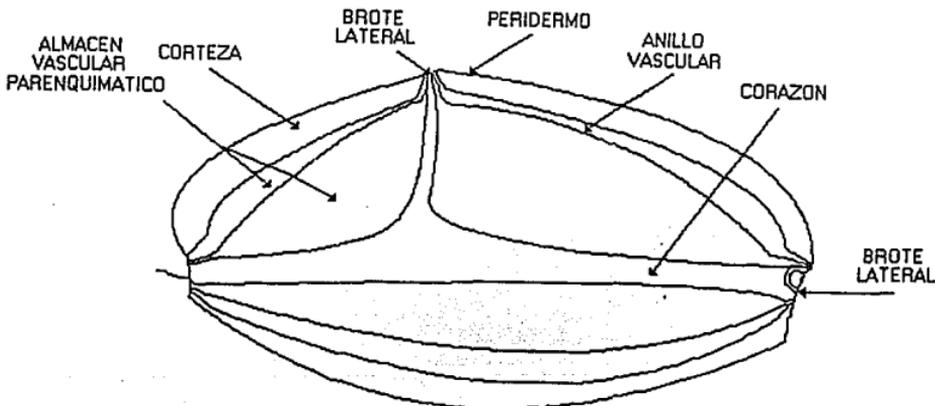
Los altos contenidos de nitrógeno se han asociado a una madurez avanzada, deficiencia de potasio y ciertas enfermedades causadas por virus. Aproximadamente de 1/3 a 1/2 del nitrógeno total es considerado como proteína, cuya proporción es mayor en papas inmaduras. Así mismo, se encuentran aminoácidos libres tales como ácido aspártico, prolina, glutamina y aspargina, cuyo contenido se ve afectado por el almacenamiento y el nivel nutricional de la planta. También se han detectado pequeñas cantidades de otros compuestos nitrogenados, como proteasas y peptonas entre otros (21,40).

Alrededor de 0.10 % de la papa está conformado por lípidos y ácidos orgánicos, los cuales están constituidos por los siguientes ácidos: mirístico, pentadecanoico, esteárico, araquidónico, palmítico, oleico, linoleico, linolénico, láctico, succínico, oxálico, málico, tartárico, cítrico, ascórbico y otros (35).

### ESTRUCTURA ANATOMICA DE LA PAPA

El tubérculo es de forma ovoide irregular, compuesta por diferentes capas de tejido, como se aprecia en la siguiente ilustración:

Figura 1. Esquema de la papa



Fuente: Talburt F., W. Potato processing, AVI Pub. Co., USA  
pág. 13 (35)

La parte externa está constituida por una capa de tejido suberoso (acorchado) el cual actúa como protección contra la pérdida de humedad, así como contra el ataque por hongos.

Cuando una papa es cortada o presenta heridas ligeras se produce una proliferación celular que forma una especie de peridermo especial que tiene las mismas funciones que el normal e incluso puede desarrollarlas más eficientemente.

Bajo el peridermo se encuentra otra capa llamada cortex, formada por tejido parenquimatoso, enseguida se localizan las zonas vasculares de almacenamiento parenquimático, que tienen

un alto contenido de almidón.

Entre estas capas se pueden encontrar anillos vasculares discontinuos, conteniendo xilema y floema, que pueden formar una especie de puente en la parte central pero extendiéndose hacia otras áreas se tiene una pequeña zona consistente de células alargadas que tienen menor porcentaje de almidón que las vasculares. Esta zona se conoce como "corazón acuoso" ó "médula".

Externamente pueden apreciarse ojos o brotes, ya sea en las partes laterales o axiales, pudiéndose encontrar de 5 a 13 brotes por tubérculo.

#### ENFERMEDADES DE LA PAPA

La papa está expuesta a más de 100 enfermedades causadas por bacterias, hongos, virus o micoplasmas, influenciadas grandemente por el clima, pero afortunadamente son pocas las repercusiones serias que se presentan.

Algunas enfermedades se manifiestan solamente en regiones frías (gangrena, piel manchada) y otras solo en climas húmedos, (descomposición temprana, podredumbre café, mosaico silvestre). Los patógenos pueden atacar el follaje, el tubérculo e incluso la raíz, por lo que la enfermedad puede llegar a afectar a todo el sistema, presentándose infecciones durante el crecimiento, la cosecha o en el manejo posterior el cual es muy importante ya que los daños a la piel, como cortaduras, favorecen el ataque de microorganismos.

Las enfermedades de la papa pueden tanto disminuir la producción, al presentarse durante el crecimiento del tubérculo, como deteriorar posteriormente la calidad del producto, durante el almacenaje y distribución.

Algunas infecciones pueden ser detectadas aún antes de la cosecha, sin embargo, en ocasiones los síntomas no son visibles ya que la enfermedad puede encontrarse en estado latente, como es el caso del oscurecimiento y la podredumbre de raíz.

Las pérdidas a nivel mundial por enfermedades se calculan en un 30 % aproximadamente, a nivel de campo; sin contar las mermas que llegan a presentarse en postcosecha o almacenamiento debidas a desórdenes fisiológicos y/o deformaciones, así como durante la industrialización donde

pueden registrarse otras pérdidas (16).

Para disminuir la magnitud de este problema, es esencial el prevenir que se presenten las enfermedades, o el procurar que sus efectos sean mínimos. Las medidas de control más frecuentes son las encaminadas a eliminar o restringir las fuentes más importantes de inóculo.

Algunas enfermedades pueden evitarse plantando tubérculos-semilla sanos; utilizando terrenos libres de patógenos, o con ayuda de la legislación que previene la introducción de nuevas enfermedades.

La erradicación de patógenos puede lograrse tratando los tubérculos que se siembran o el terreno, eliminando los tejidos dañados, utilizando variedades más resistentes, o con rotación de cultivos.

El cultivo se puede proteger modificando el medio ambiente que lo rodea, ya sea con irrigación o con la aplicación de productos químicos para prevenir infecciones o para el control de éstas. Por otra parte, el desarrollo de enfermedades en el tubérculo puede verse reducido modificando y controlando las condiciones de almacenamiento. Las medidas a tomar para el adecuado control de las enfermedades que atacan a la papa dependerá en gran parte de las condiciones climáticas, características de suelo y calidad de la semilla, aunque de manera general se recomienda el uso de variedades resistentes así como prácticas de siembra y cultivo como las ya mencionadas, (rotación de cultivos, aplicación de productos químicos, etc.) con lo que se reduce en gran medida la necesidad de otros controles (16,34).

En el cuadro 3 se muestran algunas de las enfermedades más conocidas, síntomas, agente causal y lugares donde se presentan más comúnmente, referidas especialmente a aquellas que atacan el tubérculo.

Cuadro 3. Enfermedades de la papa.

AGENTE CAUSAL Y NOMBRE COMÚN DE LA ENFERMEDAD	DISTRIBUCION	SINTOMAS EN EL TUBERCULO
<b>VIRUS</b>		
VIRUS X, MOSAICO SILVESTRE	MUNDIAL	-----
VIRUS DE HOJA ENROLLADA	MUNDIAL	-----
VIRUS Y, MOSAICO SEVERO	MUNDIAL	-----
VIRUS S	MUNDIAL	-----
VIRUS DEL TABACO	EUROPA, NORTEAMERICA, BRASIL Y JAPON.	NECROSIS INTERNA
VIRUS DE HOJA SECA	EUROPA Y PERU	NECROSIS INTERNA
VIRUS AMARILLO DE ENANISMO	NORTEAMERICA	NECROSIS INTERNA
<b>BACTERIAS</b>		
CORYNEBACTERIUM SEPEDEMICUM	EUROPA Y NORTEAMERICA	PODREDUMBRE
ERWINIA CARBOTORA VAR. ATROSEPTICA, PODREDUMBRE HUM.	EUROPA Y NORTEAMERICA	PODREDUMBRE NUNEDA
PSEUDOMONAS SOLANACEARUM, PODREDUMBRE CAFE	TROPICO, ZONAS HUMEDAS Y TEMPLADAS	PODREDUMBRE NUNEDA
<b>HONGOS</b>		
ALTERNARIA SOLAN, MADURACION TEMPRANA.	MUNDIAL	PODREDUMBRE
BOTRYTIS CINEREA, MOHO GRIS	MUNDIAL	PODREDUMBRE
FUSARIUM SPP	NORTEAMERICA	PODREDUMBRE
COLLECTOTRICHUM COCCODES	MUNDIAL	LESIONES SUPERFICIALES

Fuente: Talburt F., W. Potato processing, AVI Pub. Co., USA pág. 28 (35)

## 1.2.- ANALISIS DE LA PRODUCCION DE PAPA EN MEXICO

La papa se cultiva en toda la República Mexicana lo que permite contar con este producto durante todo el año, ya que se tienen diferentes temporadas de cultivo en las diversas zonas productoras, ocupando los primeros lugares en cuanto a superficie cosechada y volúmenes de producción entre las principales hortalizas producidas en el país.

Los principales Estados productores son: Sinaloa, Puebla, México, Guanajuato, Sonora y Chihuahua, los cuales aportan aproximadamente un 70 % de la producción nacional (1).

En el Cuadro 4. se muestran las estadísticas de producción de estas entidades así como el total nacional durante los años de 1978 a 1990, cuyas tendencias pueden verse en la Figura 2.

A pesar de que en los últimos 10 años los principales estados productores han sido básicamente los mismos, los volúmenes de producción individuales han sufrido variaciones significativas provocando que el Estado de Veracruz de ser el primer productor en 1979 pase a ocupar el séptimo lugar en 1990, con grandes variaciones tanto en superficie sembrada y cosechada como en rendimiento obtenido y por lo tanto en su producción, a lo largo de estos años (1).

Este descenso en la producción del Estado de Veracruz empezó a hacerse notable a partir de 1980, sin haber podido recuperar sus antiguos niveles de producción hasta estas fechas.

El resto de los Estados que se han distinguido como principales productores a nivel nacional en los últimos diez años han sostenido un ritmo de producción prácticamente constante, manteniéndose el primer y segundo lugar de producción entre Sinaloa y Puebla.

Cabe mencionar que la superficie destinada a este cultivo en Puebla es significativamente mayor a la de los otros Estados, esto debido a que el rendimiento (Ton/Ha) que se tiene en dicho Estado (6.81) es aproximadamente un 36.5 % del rendimiento medio (18.65) de los otros Estados productores (1). Lo anterior es debido a las características del suelo y la poca tecnificación existentes en el Estado, que no permiten la obtención de un rendimiento mayor.

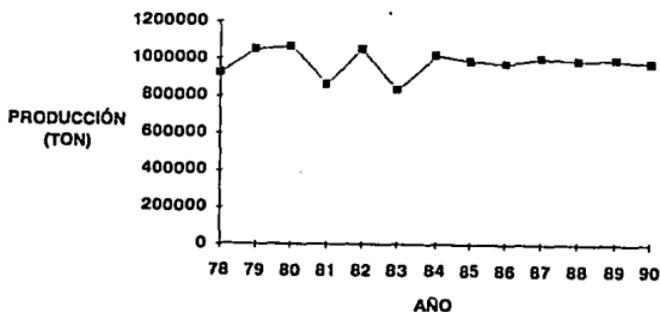
Por otro lado en los seis estados analizados se cosecha prácticamente toda la superficie sembrada, lo cual puede deberse a las buenas prácticas de cultivo existentes en estas zonas, en donde el mayor porcentaje corresponde a una agricultura de riego lo que permite un mejor control de los cultivos.

Cuadro 4. Producción Nacional de papa (Ton)

AÑO	CHIHUAHUA	GUAJALUARO	MEXICO	PUEBLA	SINALOA	SOMORA	TOTAL NAL.
1978	73,787	146,557	59,410	129,328	95,857	33,848	923,230
1979	128,467	83,716	73,348	159,157	114,883	55,872	1,853,366
1980	34,628	243,855	26,516	197,531	138,368	34,558	1,864,985
1981	78,588	144,518	21,884	152,912	85,566	35,698	861,278
1982	62,651	119,354	52,414	178,352	121,699	74,642	1,054,211
1983	67,153	112,813	46,858	119,877	111,367	62,147	835,215
1984	183,133	59,556	188,861	158,873	153,169	126,928	1,817,851
1985	182,498	94,362	118,286	197,545	-----	78,349	989,482
1986	94,852	24,825	142,565	185,846	179,871	58,689	971,668
1987	89,891	53,376	114,583	135,836	185,756	54,284	1,884,855
1988	72,717	87,879	119,788	124,185	192,189	74,815	998,977
1989	88,856	86,235	118,895	129,361	191,356	74,659	994,882
1990	98,356	85,987	119,789	132,876	192,763	75,837	975,651

FUENTE: Anuarios estadísticos de la Dirección General de Economía Agrícola, SARN, 1978 a 1990.

Figura 2. Producción Nacional de Papa



En base a lo anterior, se decidió profundizar en el análisis del sistema de producción y comercialización de papa para los Estados de Puebla y Sinaloa; ya que dados sus volúmenes de producción, y las diferencias que existen entre ellos, ejemplifican de manera completa, la situación del cultivo de la papa en México.

Este análisis comprende los aspectos de: localización de la producción, destino de la producción, porcentajes de mermas y causas de las mismas, así como canales de comercialización, tratándose estos factores de manera independiente para cada Estado.

#### **SINALOA**

En el Estado de Sinaloa la producción de papa está localizada en la zona de Los Mochis, comprendiendo los Municipios de El Fuerte, Ahome, Guasave y Sinaloa de Leyva; localizados al Noroeste del Estado.

La época de cosecha principal es durante los meses de Marzo a Mayo, lo que coloca a Sinaloa en una situación muy conveniente para la comercialización de la papa, ya que es el único estado productor durante esta época del año.

El Distrito más importante de producción es el Distrito de Riego del Valle del Fuerte, en donde a pesar de existir una gran superficie sembrada de propiedad ejidal, alrededor de 48% de la superficie total destinada a esta hortaliza en el Estado; la mayor parte de la tierra se encuentra rentada a alrededor de 50 productores privados, los cuales controlan prácticamente la totalidad de la superficie destinada al cultivo de la papa (1,9).

En el Distrito del Fuerte existe una elevada concentración de tierras en tan solo 9 productores que manejan casi el 60 % de la superficie sembrada de papa en dicho Distrito.

La centralización de esta producción hace que la Asociación de Productores de Papa del Estado sea un organismo muy fuerte en el control de la oferta y la demanda, a través de la planeación de la producción, lo cual es posible debido a los grandes recursos destinados a esta actividad, obtenidos en algunos casos a través del arrendamiento de tierras a grandes capitales nacionales, así como de la especulación realizada en el mercado de la papa.

La aplicación de grandes capitales a esta actividad permite la utilización de tecnología avanzada en el cultivo, el empleo de semillas de primera calidad ya sea importada de Holanda o producida por ellos mismos, sistemas de riego y la disposición adecuada de los insumos necesarios en este cultivo tales como fertilizantes y plaguicidas, lo cual redundará en un mejor control de la producción, la obtención de productos de buena calidad y altos rendimientos de cultivo por hectárea.

Por otra parte se cuenta con bodegas refrigeradas que permiten un mejor control de la oferta y demanda de la papa ya que se puede almacenar esta hasta por periodos de 6 meses, obteniéndose además mejores precios para el producto. Este tipo de infraestructura solamente la poseen los productores de este Estado y en menor escala en algunas zonas de Guanajuato (9).

Aproximadamente la mitad de los productores sinaloenses cuentan con bodegas en la Central de Abastos del Distrito Federal lo que les permite incidir en este importante mercado.

La producción se destina casi en su totalidad a su comercialización directa, dedicándose un pequeño porcentaje a la producción de semillas de las cuales Sinaloa es el principal abastecedor de las regiones Norte y Centro del país.

La papa que se comercializa directamente, se destina totalmente al mercado Nacional. De acuerdo con lo reportado por la Dirección General de Economía Agrícola de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la papa procedente de Sinaloa se destina en un 83 % a la comercialización con intermediarios de otras ciudades, tales como D.F., Guadalajara, Monterrey, Torreón y Cd. Obregón; el 10 % a las industrias de frituras (Sabritas y Barcel) y el 7 % al intermediario local.

Figura 3. Destino de la producción de papa en Sinaloa.



Fuente: DDF, CEDA, COABASTO. Producto papa alpha para el D.F., Mayo 1988. pág. 10 (9)

En lo que se refiere a las mermas de la producción, la causa principal la constituyen factores como el sol y la lluvia excesivos, que favorecen la manifestación de enfermedades en el producto tales como manchas y pudriciones. Otras causas importantes son el daño producido por las cosechadoras mecánicas, las malas condiciones de transporte, fallas en las operaciones postcosecha, malas condiciones de almacenamiento y la falta de capacitación adecuada del personal encargado del empaque del producto.

De acuerdo a datos de la SARH los porcentajes de mermas de este producto en el Estado de Sinaloa van de un 5 al 20 % durante la cosecha, alrededor del 3 % en el proceso de empackado y aproximadamente un 20 % durante el transporte. Lo anterior representa un porcentaje de pérdidas global del 28 al 40 % de la que se produce en Sinaloa.

#### PUEBLA

El cultivo de papa en este Estado se encuentra distribuido en cinco regiones que son Huachinango, Teziutlán, Cholula, Tepeaca y Tehuacán. De estas regiones es en Tepeaca en donde se destina mayor superficie al cultivo de la papa, siendo los principales municipios productores Cd. Serdán, Gpe. Victoria, Libres, Saltillo de la Fragua y Tlachichuca. Las áreas de

cultivo generalmente son laderas de volcanes y zonas montañosas, localizadas al norte del Estado, en las que se utiliza el sistema de riego por bombeo. La siembra se lleva a cabo durante el período de Marzo a Abril, obteniéndose cosechas de Julio a Septiembre.

En este Estado la producción está en manos principalmente de pequeños propietarios, algunos de los cuales rentan tierras para aumentar sus superficies de cultivo.

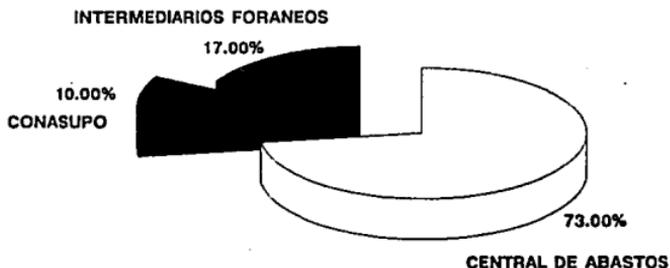
Los productores de Puebla no son autosuficientes en la producción de semilla, adquiriéndola en Sinaloa, Chihuahua y el Estado de México.

La aplicación de tecnología especial para el cultivo es limitada por lo que los rendimientos por hectárea en este Estado son bajos aunque los costos de producción son más bajos que en Sinaloa. Los productores más pequeños de Puebla no cuentan con superficies de riego y sus rendimientos por hectárea son menores.

La papa producida en Puebla se destina principalmente a los grandes centros de distribución del D.F., al consumo directo dentro del Estado y en menor medida a la industria procesadora. La cercanía de Puebla con el D.F. facilita el que sea uno de los principales abastecedores de la ciudad y de igual modo, permite la movilización rápida del producto, no siendo necesario contar con grandes almacenes en la zona productora.

Los productores poblanos comercializan su producto en un 73% en la Central de Abastos, con distribuidores o cotizadores propietarios de bodegas; un 17% se vende a intermediarios de otras ciudades y aproximadamente 10% se comercializa con CONASUPO. A diferencia de los productores de Sinaloa, muy pocos productores poblanos son propietarios de bodegas en la Central de Abastos del D.F. y la mayoría tienen tratos con introductores y bodegueros para la venta de su producto.

Figura 4. Destino de la producción de papa en Puebla.



Fuente: DDF, CEDA, COABASTO. Producto papa alpha para el D.F., Mayo 1988. pág. 11 (9)

El transporte utilizado para movilizar la papa de Puebla, es tanto propio como rentado y en algunos casos corre por cuenta del comprador.

Los porcentajes de mermas de producto en este Estado, de acuerdo a las estadísticas de la SARH van del 2 a 20 % en la producción y cosecha, causadas básicamente por deficiencias en las prácticas de cultivo o bien a las características geográficas y climatológicas propias del Estado, mientras que durante el manejo y transporte son de alrededor del 10 %. Esto representa una pérdida global del 12 al 30 % de la producción.

Las diferencias sustanciales entre los dos estados analizados radican en la forma en que se realiza la producción y en las características del manejo del producto en cada Estado; ya que mientras en Sinaloa predomina la tecnificación de los campos de cultivo y los altos rendimientos por hectárea, en

Puebla la tecnología aplicada es limitada y los rendimientos por hectárea son muy bajos.

Por otro lado, se observa que las causas de las mermas en Puebla están relacionadas con los problemas que la poca tecnificación provoca y con los factores climáticos y geográficos propios del Estado, a diferencia de Sinaloa donde a pesar de la tecnificación las mermas son mayores que en Puebla, siendo la razón principal el transporte, dada la gran distancia existente entre la zona productora y el principal centro de distribución; así como la aplicación incorrecta de tecnología por existir poco personal capacitado, y las enfermedades provocadas por la lluvia y el clima del Estado.

En lo que se refiere a la comercialización, es común en Puebla la venta a intermediarios e introductores a la Central de Abastos del D.F. que es el principal destino de la producción, estando las opciones de venta muy restringidas ya que se limitan a la venta en el campo y muy pocos llevan su producto directamente al comprador o bodeguero.

Por su parte, la mayoría de los productores sinaloenses, transportan ellos mismos su producto hasta sus propias bodegas en la Central de Abastos o hasta los centros de distribución de otros Estados, con lo que evitan en lo posible a los intermediarios. Sin embargo las pérdidas de producción globales son mayores en Sinaloa y esto es debido al transporte a las centrales de abasto, que en Puebla es más rápido por su cercanía con su principal centro de comercialización.

En forma global se puede decir que la producción nacional de papa no ha estado exenta de las modificaciones y problemas que todo el sector agrario ha sufrido, tales como cambios en políticas gubernamentales, falta de tecnología adecuada, etc.; sin embargo a pesar de esto, por ser un producto de alta demanda, la mayoría de los productores se han resistido a la sustitución de cultivos y a lo largo de 10 años la producción se ha mantenido casi constante, al contrario de la de otros productos, que ha tendido a la disminución.

### 1.3.- CARACTERISTICAS DEL ALMIDON

Químicamente el almidón es un carbohidrato, esto es un compuesto de carbono, oxígeno y nitrógeno de origen vegetal, que se forma durante el proceso fotosintético en las plantas (2).

La biosíntesis del almidón se realiza en un organelo especializado llamado amiloplasto, donde se encuentran las enzimas encargadas de catalizar la reacción que da origen a la amilosa y a la amilopectina, que son los polímeros constituyentes del almidón. La molécula inicial en el proceso biosintético, es la glucosa, la cual es transportada desde los tejidos fotosintéticos hasta los órganos de almacenamiento; conforme el gránulo se va desarrollando, va ocupando un mayor volumen dentro del amiloplasto, hasta que lo llena por completo, puede ocurrir que dentro de un mismo amiloplasto se forme más de un gránulo de almidón, con lo que se da lugar a gránulos compuestos (14).

El almidón puede obtenerse a partir de diversas fuentes, como son, cereales (maíz, trigo, arroz, etc.), frutas verdes y vegetales, principalmente tubérculos y raíces (papa, camote y tapioca); las diferencias más importantes entre los almidones de cereales y los de tubérculos, son el contenido de humedad y la disponibilidad de tejidos que contienen almidón, en el momento de la cosecha (21).

En el punto comercialmente adecuado para su cosecha, los cereales han perdido ya un alto porcentaje de humedad y las células del endospermo han experimentado una degradación extensa, esta degradación se refiere al rompimiento de estructuras de membrana que contienen cierto tipo de lípidos que posteriormente son extraídos junto con el almidón y al no eliminarse durante el proceso pasan a formar parte de los llamados componentes menores del mismo.

Por otro lado, cuando los tubérculos son utilizados como materia prima para la extracción del almidón, todavía conservan gran parte de su humedad y turgencia originales, en estos tejidos, las células no se han degradado y la mayoría de las veces se conserva incluso la membrana original de los amiloplastos, que llega a ser extraída ocasionalmente, junto con el almidón; lo cual dificulta la obtención de almidón libre de componentes menores, cuya naturaleza difiere dependiendo de la fuente utilizada (14).

Los componentes menores pueden provenir de orígenes diversos como son, la membrana de los amiloplastos, material depositado en la superficie del gránulo durante la desintegración natural de los tejidos ( en el caso de los cereales ) o durante las etapas finales del proceso de extracción.

Numerosas investigaciones, han demostrado que la naturaleza de los componentes menores es determinante para conferirle al almidón características y propiedades especiales, (14, 21, 39, 40).

En lo que se refiere a las características físicas del gránulo, es importante mencionar que estos poseen un centro conocido como hilum y que se cree que es el núcleo a partir del cual se desarrolla el gránulo. Otra característica del gránulo de almidón, es que presenta birefringencia, es decir desvía la luz polarizada, lo cual es empleado en proyectos de investigación para la identificación y caracterización de los diversos almidones, en base al patrón de rayos X que presenten.

En cierto tipo de almidones, los gránulos tienen estrías que sólo en algunos casos son fácilmente identificables y se ven como líneas concéntricas alrededor del hilum; en el caso del almidón de papa se observan con claridad con cualquier tipo de microscopio y por lo regular no se localizan en el centro del gránulo.

Estas capas ó anillos concéntricos están relacionados con el ritmo de síntesis del almidón dentro de las plantas, considerándose cada anillo como una etapa individual de producción y depósito de almidón, que depende tanto de las características de la planta como del ambiente de cultivo.

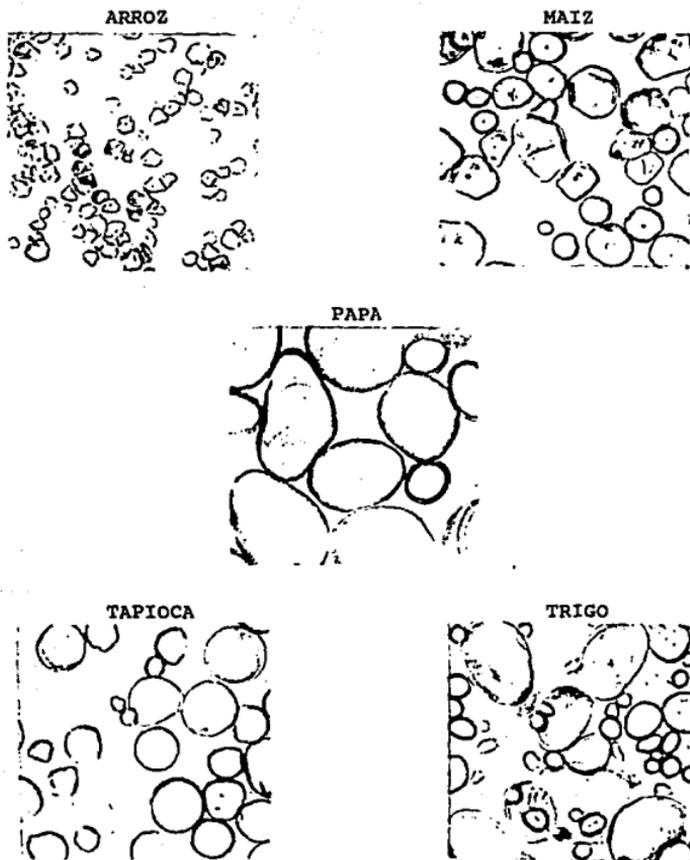
Los gránulos de almidón, dependiendo de su origen, pueden tener diferentes tamaños. En general se pueden tener gránulos con diámetros de 3 mcm a 120 mcm o más. Los gránulos más pequeños son los provenientes de arroz, con un diámetro promedio de 3.8 a 5.7 mcm, seguidos de los de maíz (5 a 25 mcm), tapioca (19.7 a 21.3 mcm), trigo (5 a 35 mcm); y finalmente los de papa que pueden llegar a sobrepasar 120 mcm de diámetro.

De manera general, en los gránulos de almidón nativo se tiene una relación aproximada de 1:3 de amilosa - amilopectina, con porcentajes de 20 a 30 % y 70 a 80 % respectivamente, así como alrededor de 0.093 % de fósforo y pequeñas cantidades de

nitrógeno, aunque esta composición no es homogénea en todo el gránulo ya que la amilosa se encuentra más concentrada en la parte interna que en la periferia.

En lo que se refiere a la forma, esta también varía con el origen del gránulo, como se muestra a continuación:

Figura 5. Aspecto de diferentes gránulos de almidón.



Fuente: Whistler, R.; Paschall, E.; Starch: Chemistry and Technology, Academic Press, 1967, pág. 682 (41)

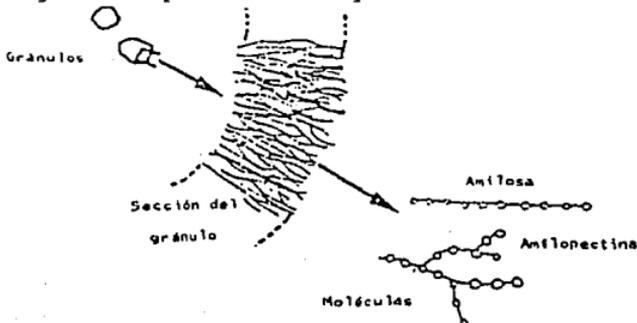
En el almidón de arroz los gránulos son muy angulares (5 lados), encontrándose frecuentemente aglomerados, cuentan con un hilum céntrico y presentan baja birrefringencia. En el maíz se tiene una mezcla de gránulos redondos y angulares, usualmente de 4 ó 5 lados, localizándose el hilum en el centro del gránulo. El almidón de tapioca presenta gránulos de forma variada, pudiendo ser redondos, truncados, ovalados y algunas veces con ligeras fisuras; la mayoría de ellos presentan el hilum en el centro. Los gránulos del almidón de trigo presentan dos formas principalmente, pudiendo ser tanto largos y cilíndricos, como pequeños y esféricos; y difícilmente se logra ver el hilum.

El almidón de papa consiste principalmente de gránulos largos y ovalados, con un hilum excéntrico, son los de mayor tamaño, llegándose a observar fácilmente los anillos concéntricos de la síntesis del almidón.

#### COMPOSICION:

En los almidones de uso común como los de maíz, papa y trigo, la amilosa y la amilopectina están presentes en proporciones similares; 69-77 % de amilopectina y 23-31 % de amilosa. La amilosa y la amilopectina juntas representan del 97 al 99 % del almidón en base seca.

Figura 6. Representación esquemática del almidón



Fuente: Luallen, T. E.; Structure, Characteristics and uses of some typical carbohydrate food ingredients. Cereal Foods World, Vol. 33, No. 11 Noviembre 1988, pág. 924. (27)

#### AGUA:

El agua es un componente importante del almidón y constituye del 10 al 17 % del almidón comercial, aunque la mayoría de esta agua está fuertemente ligada y corresponde a la necesaria para formar el monohidrato [  $n(C_6H_{10}O_5 \cdot H_2O)$  ], se afirma que la cantidad y distribución del agua dentro del almidón es crítica tanto para las propiedades físicas, como para las reacciones químicas del mismo (14,20).

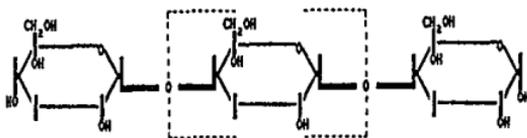
#### AMILOSA:

La amilosa es un polímero lineal con un peso molecular de 160,000 a 700,000, en el que básicamente todas las unidades de glucosa anhidra están unidas por enlaces alfa 1-4., aunque presenta algunas ramificaciones (enlaces alfa 1-6), (40).

Los grupos hidroxilo que presenta le dan la propiedad hidrofílica al polímero haciéndolo afín al agua y permitiendo su dispersión en esta; sin embargo, debido a su forma lineal y a la presencia de hidroxilos sus moléculas tienden a orientarse paralelamente y a unirse formando puentes de hidrógeno, con lo que se reduce la afinidad por el agua y se forman aglomerados, presentándose precipitados (a bajas concentraciones) o gelatinización (a concentraciones mayores). Este fenómeno de asociación de las moléculas de amilosa se conoce comúnmente como retrogradación.

Por otro lado, la amilosa tiene afinidad por el yodo con el que forma un complejo colorido azul útil en la identificación de almidones con alto porcentaje de amilosa, y por grandes moléculas que contengan partes hidrófobas e hidrófilas con las que puede formar complejos en forma de hélices, en tanto que al estar libre y en solución a pH neutro tiene una conformación de serpentina o listón flexible, al enfriarse forma dobles hélices duras que pueden darse por elongación de la cadena o por asociación lateral. Si el peso molecular la amilosa es alto, se va a formar una red fina y al reasociarse más gruesa; si el peso molecular es bajo, va a formar pedazos que posteriormente se van a unir para formar una red gruesa.

Figura 7. Estructura de la amilosa



Fuente: Luallen, T. E.; Structure, Characteristics and uses of some typical carbohydrate food ingredients. Cereal Foods World, Vol. 33, No. 11 Noviembre 1988, pág. 924. (27)

#### AMILOPECTINA:

La amilopectina tiene una estructura muy ramificada. Cada ramificación presenta alrededor de 15 - 25 unidades de glucosa anhidra interconectadas por enlaces alfa 1,4 y unidas al polímero lineal por enlaces alfa 1,6.

Generalmente la amilopectina es de mayor tamaño que la amilosa. No se conoce su longitud exacta para muchos almidones pero algunas investigaciones indican que tiene un peso molecular de 300,000 a 500,000 (41).

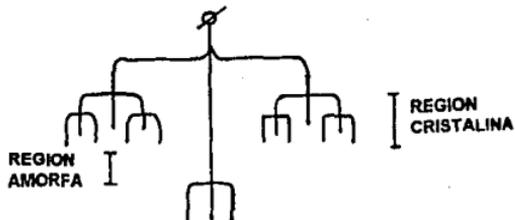
La existencia de ramificaciones reduce la movilidad de las moléculas y dificulta que se presente la orientación lineal cercana entre éstas, requerida para que se de la retrogradación.

Como resultado de esto, las soluciones acuosas de amilopectina o de almidones con altos porcentajes de esta se caracterizan por buena claridad y estabilidad o resistencia a gelificar así como a cambiar con el tiempo. Por otro lado, al ser una cadena ramificada no forma películas tan resistentes y flexibles como las de amilosa y no reacciona con el yodo para la formación del complejo azul.

La amilopectina es la responsable de la estructura del gránulo del almidón, lo cual se ha comprobado con la extracción acuosa de la amilosa, en la que el gránulo queda intacto en forma y tamaño.

El modelo más aceptado para la estructura de la amilopectina es en forma de racimos unidos entre sí; la parte de los racimos es cristalina y las uniones de estos es sin ramificaciones, constituyendo la fracción amorfa junto con la amilosa. La cristalinidad del gránulo va del 10 al 30% (nunca es mayor del 40%).

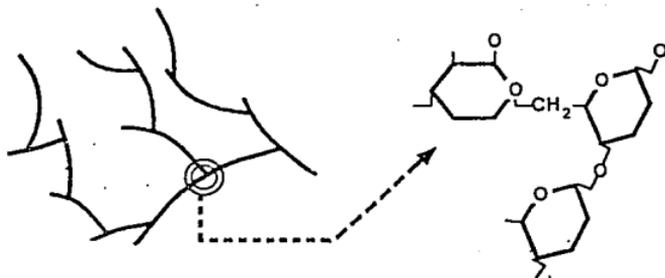
Figura 8. Modelo de racimos de la amilopectina.



Fuente: Conferencia " Propiedades del almidón ", Dra. Patricia Rayas, North Dakota State University, noviembre de 1992.

La estabilidad de las soluciones de amilopectina es uno de los factores principales para el uso de almidones con altas cantidades de este polímero, como el de papa.

Figura 9. Estructura molecular de la amilopectina



Fuente: Luallen, T. E.; Structure, Characteristics and uses of some typical carbohydrate food ingredients. Cereal Foods World, Vol. 33, No. 11 Noviembre 1988, pág. 924. (27)

#### COMPONENTES MENORES:

Los componentes menores no se habían estudiado con tanta profundidad como los componentes principales; sin embargo recientemente se han incrementado los estudios al respecto, debido principalmente a la gran importancia que algunos investigadores les atribuyen como agentes determinantes de las propiedades funcionales del almidón.

Los análisis típicos muestran que los componentes menores existen en mayor proporción en los almidones obtenidos industrialmente que en los obtenidos a nivel laboratorio, lo anterior es debido a la poca eficiencia con que se maneja en algunas industrias la etapa de purificación.

Los componentes menores se pueden agrupar en tres categorías, dependiendo de su localización en el grano o tubérculo (14).

1. Materiales particulados.- Son fragmentos de la estructura del grano o tubérculo que son extraídos junto con el almidón.

Estas partículas son por lo regular proteínas insolubles y compuestos que forman la pared celular. Las proteínas insolubles, pueden provocar sabores y colores indeseables en

el almidón o en los productos de su hidrólisis. Por su parte los compuestos que provienen de la pared celular son carbohidratos, que tienden a ligar agua y debido a que desarrollan viscosidad ocasionan problemas en los procesos de separación.

La cantidad de materiales particulados que se encuentre en el almidón, depende tanto de la materia prima como de los procesos de separación empleados; pero principalmente de lo extenso del tratamiento de purificación.

2. Componentes de superficie.- Es el material asociado con la superficie del gránulo y que se puede remover con procedimientos adecuados para este fin, como pueden ser el lavado y la extracción con solventes, sin el rompimiento de la estructura interna. Estos componentes provienen de materiales que se asocian con el gránulo en su fuente original o que se unieron a éste durante el proceso de obtención, en las etapas de extracción y secado.

En los almidones comerciales que provienen de tubérculos pueden permanecer proteínas y carbohidratos, además de algunas partículas inorgánicas; mientras que en los que provienen de cereales, se encuentran también lípidos que en forma libre ó asociados con proteínas, a los que algunos investigadores atribuyen una influencia sobre las propiedades de hidratación, dispersión y susceptibilidad a la acción de enzimas, así como a la oxidación de almidones provenientes de cereales.

3. Componentes internos.- Son principalmente lípidos y proteínas ligados a la matriz interna del gránulo, que únicamente puede ser extraídos con el rompimiento de éste. Los almidones de cereales por lo regular contienen lípidos que al parecer están asociados con fracciones de amilosa; aunque la naturaleza de los lípidos presentes en cereales diferentes, varía de acuerdo a la materia prima de la que se obtiene el almidón. Por otro lado los almidones de tubérculos como la papa tienen muy bajo contenido de lípidos y sin embargo contienen grupos fosfato libres que esterifican los residuos de glucosa en la amilosa y la amilopectina y que al parecer juegan un papel muy importante en las propiedades físicas del almidón de papa, por la alta capacidad de captación de agua que le confieren. A pesar de que los almidones de cereales también contienen grupos fosfatos, estos están presentes en los componentes fosfolípidos de los lípidos del almidón, lo que reduce su capacidad de hidratación. Esto se ha comprobado de manera parcial con la

extracción de lípidos de almidones de cereales, los cuales una vez desgrasados presentan un comportamiento similar a los almidones de tubérculos, en cuanto a su patrón de hidratación (20).

Con respecto a los componentes de naturaleza proteica los estudios han estado enfocados principalmente a las proteínas de la superficie por la facilidad de extracción, en tanto que las proteínas localizadas en el interior del gránulo, han sido menos estudiadas que los lípidos, debido a la dificultad de extracción así como a la complejidad para separar del nitrógeno determinado por el método de Kjeldahl, el que corresponde a las proteínas y el que se debe a otros compuestos nitrogenados presentes; sin embargo se han realizado análisis de aminoácidos para determinar el contenido real de proteínas y se ha encontrado que este es en promedio la cuarta parte de lo determinado con el método tradicional (14).

Aproximadamente el 10 % de las proteínas se localiza en la superficie del gránulo y el resto en su interior, de las cuales la que tiene mayor efecto en las propiedades del almidón a pesar de encontrarse en cantidades muy pequeñas, es la enzima -amilasa, cuyo grado de actividad varía en los diferentes tipos de almidón.

En lo referente a los lípidos, estos al igual que las proteínas, se localizan tanto en la superficie del gránulo como en su interior y se ha encontrado que el tipo de lípidos es característico de cada almidón, así como del estado de madurez del tejido del que fueron extraídos. La mayor importancia de los componentes lípidos que se encuentran en la matriz del gránulo radica en que se ha detectado que forman complejos con la amilosa y que por lo tanto pueden afectar tanto la determinación de esta fracción como las propiedades funcionales del almidón, ya que por su capacidad hidrofóbica intervienen como retardadores o reguladores del proceso de hidratación del almidón (20,37).

Otros componentes menores son los minerales de los cuales el que se encuentra en mayor proporción es el fósforo (grupos fosfato) además de iones metálicos de calcio, potasio, magnesio y sodio. La importancia de los minerales en el almidón radica en que en algunos casos le pueden conferir carga, afectando así las características de sus dispersiones.

Cuadro 5. Composición típica del almidón de diferentes fuentes.

FUENTE	COMPONENTES MAYORES % BASE ALMIDON TOTAL		
	AMILOPECTINA	AMILOSA	AGUA
MAIZ	69 - 74	26 - 31	11 - 14
PAPA	73 - 77	18 - 27	12 - 17
TRIGO	69 - 73	27 - 31	11 - 14

FUENTE	COMPONENTES MENORES % BASE SECA		
	PROTEINAS	LIPIDOS	CENIZAS
MAIZ	0.2 - 0.4	0.5 - 0.9	0.05 - 0.1
PAPA	0.05 - 0.2	0 - 0.2	0.3 - 0.4
TRIGO	0.1 - 0.6	0.7 - 1.2	0.1 - 0.4

Fuente: Galliard, T.; Bowler, P.; Morphology and composition of starch, Critical reports and applied chemistry V.13, 1987, pág. 57 (14)

#### ALMIDON DE PAPA:

El almidón de papa tiene los gránulos más grandes de todos los almidones comerciales. Tienen un diámetro de 15 - 120 mcm y son de forma oval y estriados, lo cual no se presenta en almidones de otra fuente por lo que es una característica útil para su identificación además del hilum que presenta en uno de sus extremos.

La composición fluctúa dependiendo de la variedad de papa y de las condiciones de almacenamiento de ésta, debido a la influencia del tiempo y temperatura sobre la actividad de las enzimas responsables de la síntesis del almidón y el contenido general de carbohidratos de la papa.

Otro factor importante es la madurez de la papa, la cual influye de manera inversa sobre el contenido de amilosa y directamente sobre el peso molecular, el número de unidades de glucosa en la cadena de amilosa y el tamaño del gránulo de almidón, lo cual se ve reflejado finalmente en las propiedades funcionales de éste.

Resulta importante mencionar que en granos o tubérculos germinados, los gránulos de almidón se degradan a temperatura ambiente por la acción de enzimas amilolíticas, esta degradación provoca alteración en las propiedades reológicas (disminuyéndose el desarrollo de viscosidad), y reduce los rendimientos en la extracción de almidón de estas fuentes.

De igual forma el contenido de almidón en la papa se ve afectado al ser utilizado como sustrato en el proceso de respiración.

#### 1.4.- PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDON

El almidón presenta propiedades funcionales que tienen aplicaciones comerciales muy importantes; las cuales dependen principalmente de su origen, hidratación y estructura.

Los gránulos en su forma natural son insolubles en agua fría; cuando son humedecidos o expuestos a altas humedades absorben agua y se hinchan. La tendencia a la absorción de agua se debe principalmente a la abundancia de grupos hidroxilo en el almidón, que contribuyen a la captación de moléculas de agua.

Como se ha mencionado en otros capítulos, el almidón presenta comportamientos diferentes, al provenir de distintas fuentes, esta diferencia se observa básicamente en el desarrollo de viscosidad con el calentamiento gradual y que es característico de cada tipo de almidón (25).

Tanto como para poder manifestar sus propiedades funcionales como para que las cadenas de almidón estén disponibles para las reacciones químicas y enzimáticas; es necesario que ocurra un rompimiento de los puentes de hidrógeno que mantienen unidas a las moléculas de almidón. En la mayoría de los casos, esto ocurre con tratamientos térmicos, sin embargo pueden usarse compuestos como álcalis, urea, hidróxidos de sodio y potasio, además de otros reactivos que logran la gelatinización del almidón a temperaturas bajas (menores a la temperatura de gelatinización, 30-35 °C).

Las dos moléculas principales que constituyen al almidón, la amilosa y la amilopectina tienen características funcionales diferentes, lo cual influye en las características reológicas del polímero. En pastas calientes la amilosa se solubiliza afectando la viscosidad de la fase acuosa en la que están dispersas partículas hinchadas de amilopectina, mientras que en el enfriamiento las cadenas de amilosa tienden a asociarse entre sí por medio de puentes de hidrógeno, provocando el fenómeno de retrogradación (22).

Estudios recientes con suspensiones diluidas de amilosa, han indicado que la separación de fases entre el gel rico en amilosa y la solución rica en amilopectina, ocurre al inicio de la dispersión y que la cristalización de la amilosa dentro del gel, se da muy lentamente (28).

En productos cocinados, especialmente los que tienen bajo contenido de humedad, el gránulo de almidón está parcialmente hidratado y la amilosa que se difunde fuera de la matriz juega un papel muy importante en la textura del producto(14).

## GELATINIZACION

Cuando una dispersión acuosa de almidón se calienta a una temperatura cercana a la de gelatinización (aprox. 60°C) los puentes de hidrógeno que mantienen unidas las cadenas de almidón y a las moléculas de agua se debilitan al presentarse un incremento en la energía del sistema y aumentar el estado desordenado de este.

Este nuevo estado ocasiona que las moléculas de almidón estén más separadas entre sí, en tanto que las moléculas de agua se encuentran en uniones de menor fuerza, con lo que se incrementa la posibilidad de interacción almidón-agua, a través de la formación de nuevos puentes de hidrógeno, lo que conlleva nuevamente a la obtención de un estado más ordenado, permitiendo el hinchamiento del almidón hasta obtener un tamaño varias veces mayor que el original. Este proceso se conoce como gelatinización.

Durante la gelatinización en frío con el uso de sales o solventes se ocasiona el estado inicial desordenado a través de la acción de grupos hidroxilo que debilitan los puentes de hidrógeno tanto del almidón como del agua, favoreciendo el proceso de hinchamiento.

En forma global se puede decir que durante el proceso de gelatinización del almidón con el empleo de calentamiento, que constituye el mecanismo más profundamente estudiado, se presentan tres etapas principales:

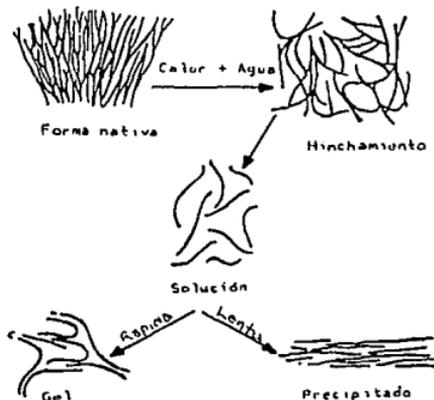
1.- Captación de agua lenta y reversiblemente, aumentando el nivel de esta de 20 a 30 %, iniciándose un hinchamiento de los gránulos, sin perder su estructura característica y birrefringencia y sin que se presente un aumento importante en la viscosidad de la suspensión.

2.- Al alcanzarse temperaturas cercanas a los 65 °C (la temperatura de gelatinización es característica de cada tipo de almidón), se presenta un aumento del tamaño del gránulo al captar una gran cantidad de agua con la pérdida irreversible de la estructura original y de la birrefringencia al presentarse la gelatinización de la mayor parte de los gránulos de almidón, con el consiguiente aumento rápido de la viscosidad de la suspensión. Aproximadamente un 30 % de la amilosa se encuentra en solución.

3.- Al continuar el calentamiento el gránulo de almidón pierde su estructura casi totalmente al alcanzar el nivel máximo de hinchamiento, perdiendo su cristalinidad, completándose la solubilización de amilosa y de la amilopectina una vez que la amilosa se ha dispersado completamente.

Al alcanzarse el máximo hinchamiento algunas moléculas salen del gránulo y se presenta una ruptura obteniéndose una dispersión de gránulos fragmentados, agregados de almidón y moléculas. Al ocurrir esto la viscosidad disminuye y luego tiende a estabilizarse. Si la dispersión se somete a enfriamiento se da un ordenamiento de las moléculas de amilosa entre sí y con partes lineales de amilopectina, pudiendo llegar a la formación de un gel cuya firmeza depende de la concentración y tipo de almidón (23).

Figura 10. Diagrama de gelatinización con calentamiento.



Fuente: Graham, H.D., Food Colloids, The Avi Pub. Co., W. Connecticut, 1977, pág. 475 (15)

El mecanismo exacto de la gelatinización a bajas temperaturas con el empleo de agentes químicos, no está totalmente definido aunque se ha encontrado a través de estudios con microscopía que durante la segunda fase de la gelatinización (fase activa), se presenta la formación de una burbuja en el interior del gránulo la cual aumenta gradualmente de tamaño hasta debilitarse el gránulo, disminuyendo rápidamente la burbuja interior e incluso llegar a su desaparición completa (20).

Este fenómeno indica una baja presión en el interior del gránulo durante el hinchamiento, ocasionando un vacío que permite la expansión del agua dentro del sistema, provocando el hinchamiento del almidón, es decir su gelatinización.

El comportamiento del almidón durante el proceso de gelatinización depende de muchos factores, especialmente del origen de éste que determina la relación amilosa/amilopectina y la forma y tamaño de los gránulos (4). En general, los almidones de raíces o tubérculos presentan un hinchamiento más rápido que los almidones provenientes de cereales, además de tener una temperatura de gelatinización menor como se puede ver en el cuadro siguiente:

Cuadro 6. Temperaturas de gelatinización de almidones nativos

Almidón	Temperatura (oC)		
	Inicio	Medio	Final
Maíz	62.0	67.0	72.0
Maíz Ceroso	63.0	68.0	72.0
Sorgo	68.0	73.5	78.0
Sorgo Ceroso	67.5	70.5	74.0
Papa	58.0	63.0	68.0
Tapioca	58.5	64.5	70.0

Fuente: Graham, H.D. Food Colloids, Avi Pub. Co., USA, 1977, pág. 47 (15)

#### CAPACIDAD LIGANTE

La cohesividad o viscoelasticidad es la capacidad de las moléculas de almidón de unirse entre sí y con otras estructuras, formando complejos que permiten la obtención de pastas viscosas y/o elásticas (11). Esta propiedad está relacionada también con el grado de hinchamiento de los gránulos. Lo anterior puede controlarse con mezclas de almidón gelatinizado o incorporando grasas adjuntas como monoglicéridos (7).

En cuanto a las propiedades ópticas, la claridad de las pastas de almidón se debe a la transmisión de luz y la reflectancia relacionadas con el grado de hinchamiento y con la homogeneidad de los gránulos, respectivamente.

## PROPIEDAD ESPESANTE

La capacidad del almidón para la captación de agua permite la obtención de dispersiones con diferentes niveles de viscosidad, mismos que están en función de diversos factores como el origen, la concentración, la temperatura de dispersión, las características estructurales (relación amilosa-amilopectina y/o tipo de modificación) (34).

Los almidones de tubérculos o de raíces muestran un aumento más marcado en la viscosidad durante la cocción que los provenientes de cereales, así como una disminución más brusca al seguir calentando, aunque al final se obtiene una viscosidad mayor.

La composición del almidón también es un factor esencial en lo que se refiere al comportamiento de las soluciones de éste durante el enfriamiento, siendo crítico el contenido de amilosa y el tamaño de la fracción de amilopectina; así como los componentes menores.

El almidón de papa comercial tiene alrededor del 15 % de humedad. El incremento en el diámetro del gránulo de almidón de papa de condiciones anhidras a condiciones de atmósfera saturada de agua es de un 12.7 % absorbiendo 50.9 g de agua/100 g de almidón seco.

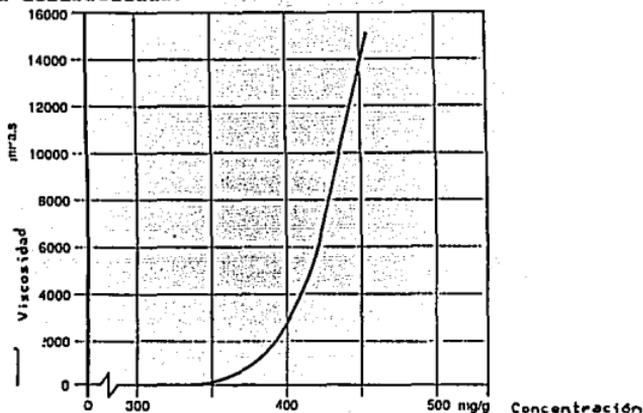
La tendencia a aumentar la viscosidad y la opacidad de las soluciones de almidón o geles se debe a la presencia de moléculas de amilosa que se pueden unir entre sí por puentes de hidrógeno, sin embargo, el almidón de papa a pesar de tener alrededor del 18 % de amilosa, forma soluciones claras y relativamente estables frente al enfriamiento lo cual puede explicarse en base al mayor peso molecular de sus cadenas de amilosa y a las pequeñas ramificaciones que dificultan la unión de ésta por medio de puentes de hidrógeno.

### FACTORES EXTERNOS QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDON

#### 1.- CONCENTRACION

La influencia de la concentración sobre la viscosidad desarrollada, no presenta un comportamiento lineal, ya que a concentraciones menores al 3 % la viscosidad desarrollada es muy baja, permaneciendo prácticamente constante, en tanto que a concentraciones mayores al 3 % se presenta un aumento de tipo exponencial de la viscosidad con respecto a la concentración, como puede observarse en la siguiente figura:

Figura 11. Influencia de la concentración de almidón sobre la viscosidad desarrollada.



Fuente: Folleto PASELLI SA2, AVEBE Food Department

## 2.- COCCION

Cuando el almidón es sometido a cocción, se aumenta significativamente su concentración crítica, al incrementarse su solubilidad por medio de la aplicación de calor (13).

Esto permite una captación de agua mayor que se refleja en el hinchamiento de los gránulos y el consecuente desarrollo de viscosidad, por lo que los almidones nativos son sometidos a procesos de cocción para el desarrollo de sus propiedades funcionales y su aplicación.

## 3.- ENFRIAMIENTO

La temperatura a la que se realiza el enfriamiento es determinante en las propiedades funcionales en combinación con la concentración de almidón, presentándose una relación directa entre esta y la viscosidad (10).

En el caso de geles, la firmeza o fuerza del gel está influenciada por la velocidad de enfriamiento (7). Un enfriamiento lento favorece un gel más fuerte que un enfriamiento rápido ya que se tiene más tiempo para la orientación y asociación de las moléculas de amilosa.

#### 4.- pH

Otro factor importante es el pH, manejándose intervalos de 5 - 7 durante la cocción para la mayoría de los almidones. A condiciones más ácidas se disminuye la temperatura de gelatinización y se acelera el proceso de cocción, aunque pueden presentarse rompimientos de enlaces glucosídicos con el subsecuente decremento de las viscosidades desarrolladas (40).

Por otro lado a pH básicos puede darse una gelatinización parcial del almidón por la influencia de los grupos hidroxilo en el sistema ocasionando un mayor desarrollo de viscosidad; aunque también puede presentarse una degradación parcial del almidón modificándose el comportamiento de este durante la cocción e hinchamiento de los gránulos (41).

#### 5.- AGITACION

La agitación influye de manera directa en el proceso de gelatinización, hasta un punto crítico en el que puede presentarse ruptura del gránulo y disminuciones bruscas de viscosidad con la consecuente viscosidad final baja, ya que durante el hinchamiento se debilita la estructura del gránulo haciéndolo más susceptible al daño por la acción mecánica de los agitadores empleados (13).

#### 6.- ADITIVOS AUXILIARES

Los aditivos auxiliares van a influir en el comportamiento del almidón durante la cocción y el enfriamiento, afectándolos de la siguiente manera:

- Niveles importantes de sacarosa, dextrosa o de otros compuestos hidrosolubles o sustancias hidroxiladas inhiben el hinchamiento de los gránulos (22). La velocidad de gelatinización e hidratación se retarda y la tendencia del gránulo a la ruptura y a colapsarse decrece, al presentarse una competencia entre estos aditivos y el almidón por la captación de agua, ayudando a la dispersión del almidón.

Además de los efectos ya mencionados, estos aditivos tienden a estabilizar las pastas de almidón y a disminuir su tendencia a la retrogradación.

- Las grasas naturales e hidrogenadas disminuyen la temperatura a la que se presenta la viscosidad máxima; sin embargo no influyen en el valor de ésta ni en la fuerza del gel formado con el enfriamiento (15).

- Los efectos de agentes surfactantes dependen de la composición química de estos y del tipo de almidón. Muchos compuestos que contienen fracciones hidrófobas y un grupo hidrofílico, tales como ácidos grasos, ésteres de ácidos

grasos, monoglicérol, etc., pueden formar complejos con la amilosa, estabilizándola y reduciendo su tendencia a la asociación y retrogradación (13).

Si el almidón no ha sido cocinado y el gránulo está intacto, los surfactantes inhiben el proceso de gelatinización aumentando la temperatura requerida y reduciendo la velocidad de hinchamiento. En algunos casos pueden causar marcados aumentos de viscosidad.

Los efectos mencionados son más pronunciados en almidones con cantidades significativas de amilosa, aunque también se presentan en almidones con elevados porcentajes de amilopectina.

Con el uso de monoglicéridos como aditivos se forman complejos con la amilosa, lo cual ayuda a reducir la tendencia de ésta a salir del gránulo y a estabilizar el almidón, con lo que se favorece la consistencia de pastas deshidratadas, espagueti, etc.

En forma global se puede decir que la diferencia en las propiedades funcionales de los almidones se debe a (13,15):

- Peso molecular.
- Relación amilosa/amilopectina.
- Formación de complejos con compuestos orgánicos.
- Características de desarrollo de viscosidad y estabilidad de soluciones.
- Características físicas del gránulo.

En el cuadro 7 se presentan las características funcionales de los almidones más comunes.

Cuadro 7. Características y propiedades funcionales de algunos almidones.

Característica	Origen del almidón				
	Maíz Común	Maíz ceroso	Maíz con alto % de amilosa	Papa	Tapioca
% amilosa	26-31	0	50-60	18-27	18-22
% amilopectina	69-74	100	40-50	73-82	78-82
Consistencia del gel	Firme	No ge-lifica	Rígido	Semi-rígido	Suave
Claridad del gel	Opaco	No ge-lifica	Opaco	Claro	Claro
Sabor	Suave	Suave	Suave	Suave	Muy suave

Fuente: Luallen T.; Structure, characteristics, and uses of some typical carbohydrate food ingredients, pág. 925 (27)

En todos los aspectos mencionados anteriormente, la amilosa tiene un papel primordial debido a sus propiedades para actuar como soporte, barrera a grasas y oxígeno, estabilizador de geles y ligante de diversos materiales, por lo que en numerosos casos la investigación se orienta hacia la obtención de almidones con alto contenido de amilosa; así como a la estabilización o mejora de algunas propiedades funcionales como capacidad espesante, o el minimizar el efecto negativo de pH y temperatura de proceso en la estabilidad de viscosidad desarrollada ó en la fuerza de gel; por lo que la modificación del almidón de papa nativo resulta muy conveniente dada la disponibilidad del tubérculo en México, facilidades de manejo, altos valores de viscosidad desarrollada y poca estabilidad frente a pH y aumento de temperatura.

### 1.5.- PROCESO DE OBTENCION DE ALMIDON DE PAPA

Para el análisis del proceso de obtención de almidón de papa es necesario considerar tanto las características de la materia prima a emplear como el equipo y condiciones de proceso, para lograr el máximo rendimiento posible.

En cuanto a la materia prima, debe tomarse en cuenta que la composición de la papa se ve afectada por la variedad, zona de procedencia, prácticas de cultivo, estado de madurez en la cosecha, tiempo que ha estado almacenada y las condiciones de almacenamiento que en ocasiones provocan la pérdida de almidón por conversión en azúcares (34).

Normalmente una planta procesadora de almidón debe contar con una capacidad de almacenamiento adecuada para operar por un periodo de aproximadamente 200 días al año (18).

En la figura 12 se presenta un proceso típico para la elaboración de almidón.

Figura 12. Proceso de obtención de almidón de papa



Las operaciones involucradas en el diagrama anterior se describen a continuación:

#### RECEPCION

Las papas se reciben en transportadores mecánicos o de manera manual, dependiendo de la forma en que el producto llega a la planta. Cuando la papa llega en arpillas, la recepción es manual y cuando el traslado se hace a granel, lo más conveniente es la utilización de transportadores mecánicos, bandas, tolvas o canales de agua. Los canales de agua se usan cuando el producto va a conducirse directamente a proceso, ya que de este modo se le realiza un prelavado al mismo tiempo que se transporta (17).

En el almacenamiento deben cuidarse condiciones como temperatura, humedad relativa, aereación y luz debido a que estos factores afectan la conservación de la papa e influyen en la cantidad de almidón que se va a obtener, tal como se describe en el capítulo 1.1.

Las condiciones de almacenamiento más recomendadas son (34):

- Temperatura de 10-15 °C
- Humedad relativa de 80 a 90%
- Baja incidencia de luz
- Almacén ventilado

#### LAVADO

Esta operación tiene la finalidad de eliminar polvo y suciedad del producto, es importante que se realice bien aun cuando las papas van a ser peladas, ya que cualquier resto de polvo puede dañar el equipo de pelado y afectar la pureza del almidón.

Como ya se dijo antes, en plantas grandes las papas se lavan en los canales en los que son transportadas desde el área de recepción hasta la zona de proceso, éste método es muy económico y como medio de transporte ocasiona muy pocos daños en el producto. Los canales pueden acondicionarse con depresiones para la separación de lodo y piedras y con dispositivos de agitación para el movimiento de las papas dentro de los canales (35).

Si el lavado que se proporciona con el transporte no es suficiente ó si el medio de transporte dentro de la planta no

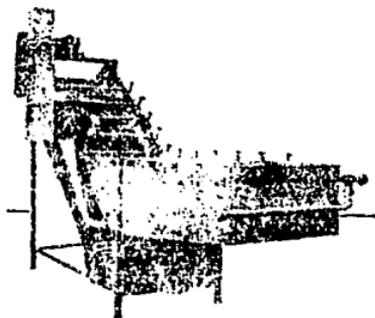
es agua, se utilizan equipos lavadores, normalmente por inmersión, ya sea continuos o tipo tanque, que cuentan con cepillos o rodillos para eliminar la suciedad, o bien se utilizan equipos con dispositivos que provocan roce y rodamiento de las papas de modo que el contacto establecido elimine la suciedad adherida.

Una forma muy común es el lavado en tinas con paletas de agitación para una mejor remoción de la suciedad.

En algunos casos la operación de lavado sirve también para realizar un control de la carga microbiana del producto, empleando detergentes, bactericidas o fungicidas.

Una vez concluido el lavado, las papas se escurren al mismo tiempo que son conducidas a la siguiente operación, pudiendo utilizarse bandas metálicas tipo red.

Figura 13. Lavadores



Fuente: Folleto "Equipos de proceso de frutas y hortalizas"  
Diseños y maquinaria JERSA.

#### **PELADO**

La operación de pelado tiene como objeto la remoción de la cáscara y demás impurezas que pudieran quedar adheridas a

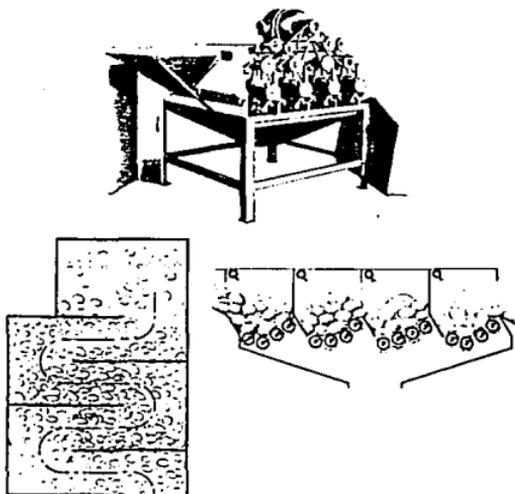
ésta. El pelado es considerado como una operación opcional, pero tiene la ventaja de que si se realiza se obtiene un almidón más puro y se eliminan operaciones adicionales de filtrado y tamizado encaminadas a eliminar la cáscara, después de la molienda.

Las papas se pueden pelar mediante el empleo de calor, compuestos químico o acción mecánica. Las peladoras mecánicas son las más comunes y pueden ser de tipo batch o continuas. Las peladoras de tipo batch usualmente se componen de un cilindro vertical que contiene el producto y que cuenta con un disco giratorio rugoso como fondo, la superficie abrasiva puede ser únicamente el fondo, el envoltente o ambos. La alimentación se realiza por la parte superior mientras que la descarga es por abajo.

Por otro lado los peladores por abrasión, de tipo continuo, varían en diseño, aunque básicamente cuentan con los mismos elementos que los anteriores. La diferencia primordial es que en los peladores continuos no se interrumpe el flujo de producto por carga y descarga, esto se logra mediante rodillos rugosos que aseguran la rotación de las papas de modo tal que toda su superficie sea expuesta a la acción raspadora. En los equipos continuos se adaptan además sistemas de esparcido colocados sobre la superficie raspadora para reducir la incidencia del obscurecimiento enzimático (41).

El sistema de pelado por abrasión se recomienda principalmente para papas con superficie lisa y uniforme para asegurar la menor pérdida de pulpa, aunque funciona también para otro tipo de producto.

Figura 14. Pelador por abrasión



Fuente. Talburt F., William; Potato processing, Avi Pub. Co., USA, 1967, pág. 208 (35)

En algunos procesos se utiliza, aunque en menor medida que el sistema anterior, el pelado por acción química, empleando Hidróxido de Sodio.

Este proceso es comúnmente una combinación de acción química con un tratamiento térmico para el ablandamiento y remoción de la piel, manchas y ojos de la papa.

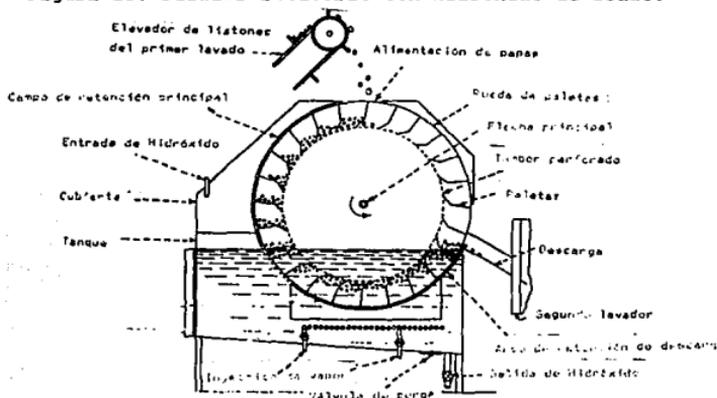
Existen diferentes tratamientos, en base a combinaciones de temperaturas, concentración de NaOH y tiempos de inmersión.

En general puede hablarse de condiciones de pelado a temperaturas considerablemente mayores del punto de gelatinización ( mayores de  $90^{\circ}\text{C}$  ), o a bajas temperaturas

(de 90 °C ó menores ); la selección de las condiciones a utilizar depende de la calidad deseada así como de los tiempos de pelado requeridos, ya que aunque estos últimos son menores en el primer tratamiento, con temperaturas bajas se reduce la posibilidad de daños al producto tales como cocción ó desnaturalización (18).

Con el tratamiento a temperaturas altas las condiciones más recomendables para la obtención de tiempos cortos de pelado ( 2 minutos aproximadamente ), son temperaturas de 100 °C y concentraciones de NaOH de 15 a 20 % ya que al incrementarse la concentración puede dificultarse la circulación de la solución al aumentar la viscosidad de la misma. Es posible manejar también combinaciones de ambos tipos de tratamientos, con el fin de obtener un tiempo de inmersión y una calidad de producto óptimas, para lo cual se utiliza primeramente temperaturas cercanas a los 110 °C y concentraciones de 20 % de Hidróxido de sodio, seguido de inmersión en soluciones de 10 a 40 % de sosa con temperaturas de 65 °C aproximadamente (35).

Figura 15. Pelador rotatorio con hidróxido de sodio.



Fuente: Talburt F., William; Potato processing, Avi Pub. Co., USA, 1967, pág. 214 (35)

En estos equipos de pelado en los que se emplean soluciones de Hidróxido de Sodio debe establecerse un control estricto

de los tiempos de exposición del producto a la lejía y de la temperatura del vapor aplicado, así como un control periódico de la concentración de la solución. Los peladores de éste tipo se complementan con sistemas de lavado por aspersión al final del pelado, para eliminar posibles remanentes de lejía (39).

Cabe mencionar que los posibles efectos del NaOH sobre el producto, tales como zonas amarillas debido a la reacción de éste con los constituyentes de la papa, así como la probabilidad de pérdida del almidón al solubilizarse en la solución de Hidróxido durante la inmersión, han provocado la disminución de este tipo de procesos para la operación de pelado (38).

#### **MOLIENDA**

La molienda también conocida como desintegración tiene la finalidad de romper la pared de las células papa, para favorecer la liberación del almidón. Lo más común es el uso de molinos de martillos para la desintegración, estos molinos son de tipo tradicional y pueden emplearse tanto en molienda húmeda como seca aunque en este caso es más recomendable la primera (35).

Se han empleado también equipos que combinan las características de las centrifugas con las de un molino de martillos vertical, en los que la desintegración se hace con un rotor suspendido verticalmente al que se le han colocado martillos en plano horizontal, el rotor gira dentro de un cilindro cuya pared interior es una criba que deja pasar únicamente la fracción que ha alcanzado el tamaño requerido.

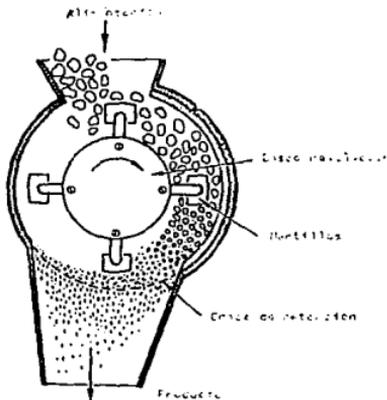
Independientemente del desintegrador que se emplee debe vigilarse que el tipo de fuerza que utilice el equipo no afecte la integridad del gránulo de almidón ni su capacidad para desarrollar sus propiedades funcionales.

Los molinos de martillos resultan ser los más adecuados en esta operación por la fuerza de corte que emplean (32).

Al mismo tiempo que se realiza la molienda se recomienda adicionar antioxidantes como el dióxido de azufre o bisulfito de sodio, en una concentración tal que la cantidad residual no sobrepase las 150 ppm (reglamentación FDA), para inhibir el obscurecimiento enzimático. Lo anterior no implica que el

obscuramiento afecte directamente al almidón, pero si daña al resto de los sólidos haciéndolos irre recuperables para otros fines; ya que además de los cambios en color, se provocan modificaciones estructurales que dan como resultado la degradación de nutrientes y la formación de sabores y olores desagradables.

Figura 16. Molino de martillos



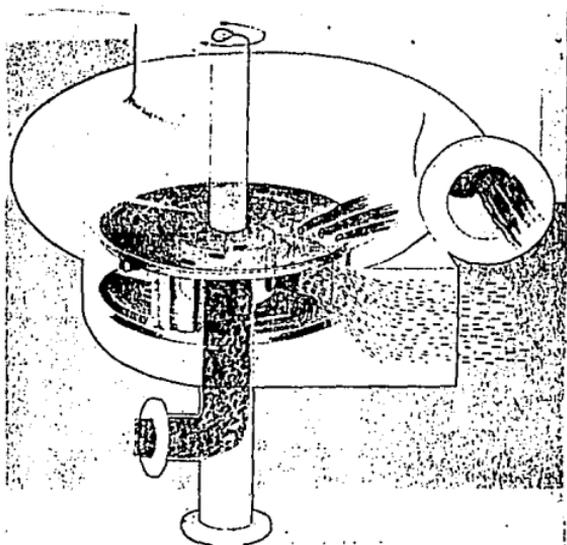
Fuente: Heid, J.L.; Joslyn, M.A., Food Processing Operations, Avi Pub Co., Wesport, Connecticut, 1981, pág. 254 (17)

#### SEPARACION DE SOLIDOS

En esta etapa se realiza la separación de la pulpa de la lechada de almidón haciendo pasar el lodo resultante de la molienda a través de cribas de diferentes tamaños colocadas en serie. Se utilizan también tamices de diferentes aberturas y por tratarse de una separación gruesa, estos van de 80 a 120 para la fibra de mayor tamaño y de 120 a 150 para eliminar la fibra más fina (18).

Para asegurar una mayor eficiencia en la separación, la pulpa separada se suspende nuevamente en agua y se pasa al molino de martillos para una nueva reducción del tamaño de partícula.

Figura 17. Separador rotatorio



Fuente: Whistler, R. Starch; Chemistry and Technology, AVI Pub. Co., pág. 94 (42).

#### PURIFICACION

La purificación consiste en la eliminación de los compuestos hidrosolubles (principalmente de naturaleza proteica) que acompañan al almidón. Para la purificación se siguen los métodos más diversos, desde sofisticados sistemas de centrifugación hasta tanques de sedimentación (40).

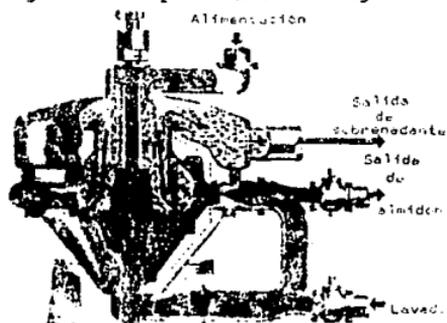
En esta etapa lo más usual es el empleo de equipos con criba rotatoria de modo que la separación se realiza con base en un tamaño de partícula dado y las fracciones que no pasan la criba son descargadas y consideradas como impurezas. Con la

purificación la lechada de almidón se concentra y esta concentración se determina en  $^{\circ}\text{Bé}$  lo cual se utiliza como control de esta operación, esperándose que los  $^{\circ}\text{Bé}$  no sean más de 18.

La utilización de centrifugas ha aportado grandes ventajas ya que la separación de restos de pulpa y compuestos diferentes al almidón es mucho más eficiente. Cuando la pureza deseada en el producto final es mayor, se puede combinar la separación por cribas rotatorias con la acción de una centrifuga; esto se realiza suspendiendo en agua el almidón separado por cribas y haciéndolo pasar por el separador centrifugo, de tipo hidrociclón, que consta de un cámara cónica con una abertura en la parte superior para la salida del agua y otra en el fondo para la lechada de almidón, la acción centrifuga hace que el agua se vaya hacia la superficie y se clarifique satisfactoriamente (18).

Al final de la purificación el almidón se pasa por un filtro rotatorio a vacío en el que se elimina el agua hasta un 60 a 65 % para así poder someterlo a la operación de secado.

Figura 18. Separador centrifugo



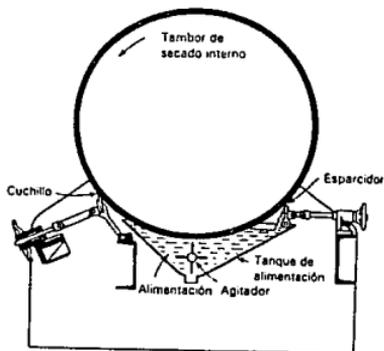
Fuente: Whistler, R. Starch; Chemistry and Technology, AVI Pub. Co., pág. 45 (42).

#### SECADO

El secado se puede realizar en diferentes tipos de equipo; tales como secadores de tambor rotatorio, de charolas y por aspersion.

Los secadores de tambor rotatorio se utilizan para materiales fluidos y semifluidos como soluciones, lodos, pastas y suspensiones. En la figura 19, se muestra un esquema de este tipo de equipos, en el cual el producto a secar se encuentra en un tanque de alimentación con agitador y es esparcido en la superficie del tambor, formando una película delgada que es secada por transferencia de calor del metal calentado internamente con vapor, finalmente el sólido seco es desprendido por medio de una cuchilla en un extremo del tambor. Las principales desventajas de este proceso son la posibilidad de daño mecánico del producto por acción de la cuchilla, además de la baja productividad.

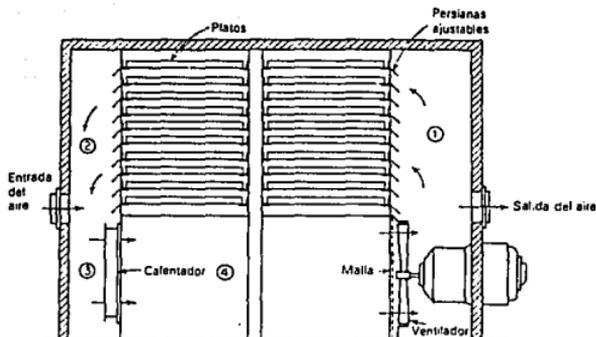
Figura 19. Secador de tambor rotatorio.



Fuente: Treybal, R.; Operaciones de Transferencia de Masa, McGraw Hill, 1980, USA, pág. 465 (36)

Otra forma de secar la pasta de almidón es con el empleo de sistemas batch, con secadores de charolas en los que la temperatura del aire no es mayor de 145 °C. Estos equipos pueden operar con aire a contracorriente o en una sola dirección, aunque su operación resulta económica, tienen la desventaja de que se requiere una molienda y un tamizado posterior al secado ya que el producto se obtiene en forma de pasta.

Figura 20. Secador de charolas.



Fuente: Treybal, R.; Operaciones de Transferencia de Masa, McGraw Hill, 1980, USA, pág. 480 (36)

Sin embargo lo más ampliamente usado son los secadores por aspersión, existiendo algunas variaciones en el número de etapas de secado y en la temperatura del aire.

Antes de alimentar el secador, el almidón es presecado en un transportador de tornillo a través del cual se hace circular, a contracorriente aire a una temperatura de aproximadamente  $143^{\circ}\text{C}$ . El producto parcialmente seco se alimenta al secador donde se pone en contacto con aire a  $145^{\circ}\text{C}$ ; el aire húmedo y el almidón se separan en un recolector ciclónico de polvos.

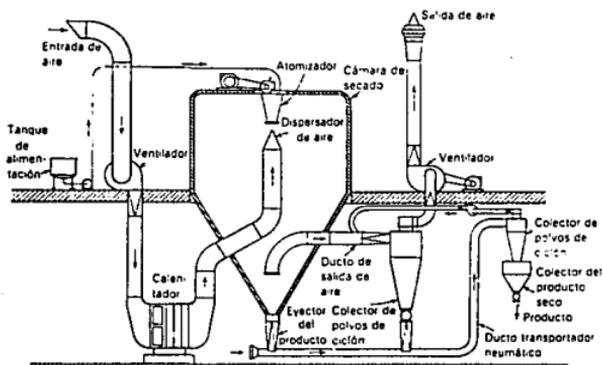
El almidón pasa a través de diferentes etapas en las que se vuelve a mezclar con aire caliente, cuya temperatura va descendiendo hasta llegar a aproximadamente  $50^{\circ}\text{C}$  en la última etapa, la temperatura de salida del almidón es de  $46$  a  $49^{\circ}\text{C}$  con una humedad de  $17$  a  $18\%$ .

En esta etapa hay que considerar que si se emplean temperaturas de aire mayores a  $175^{\circ}\text{C}$  se puede provocar gelatinización o aglomeración del almidón.

Cuando se emplea el secado por aspersión es suficiente con tamizar el almidón para controlar el tamaño de partícula, se

utilizan mallas con un  $D_p$  de 80 a 90 para remover partículas de mayor tamaño o grumos.

Figura 21. Secador por aspersión



Fuente: Brennan, J.G.; Food Engineering Operations, Applied Science Publishers Ltd; 1979, USA, pág.336, (5)

#### ENVASADO

El envasado se realiza en sacos de papel con bolsa de polietileno interior de 50 a 100 lb, utilizando llenadoras de sacos por gravedad, que constan básicamente de una tolva alimentación y un sistema de pesado. El almidón de papa grado industrial obtenido en este tipo de proceso tiene por lo general la composición siguiente (42):

Humedad: 17 a 18 %  
Cenizas: 0.35 %  
Compuestos Hidrosolubles: 0.1 %  
Azucares: trazas  
Grasas: trazas  
Acidez total: 10 unidades ( Expresada en ml de NaOH .1M  
requeridos para neutralizar 100g de almidón ).

En México a pesar de contarse con los elementos tecnológicos y de materia prima, no se dispone de plantas productoras de almidón de papa.

### 1.6.- ALMIDONES MODIFICADOS

Con el fin de aumentar el potencial de uso de los almidones, se han desarrollado diversas técnicas para modificar las características de los mismos y como consecuencia sus propiedades funcionales y aplicaciones.

Las técnicas a utilizar para la obtención de almidones modificados dependerán principalmente de la fuente de almidón y de las propiedades funcionales deseadas.

De acuerdo a la FDA (42) los tipos de modificación de almidones para alimentos son: hidrólisis, oxidación, cruzamiento y sustitución de enlaces; sin embargo, estas pueden combinarse entre sí dando lugar a otras técnicas.

Por otro lado, existen algunos mecanismos que no pueden considerarse dentro de esta clasificación, pero que son utilizados para la obtención de almidones con características diferentes al almidón nativo, como es la modificación genética o la modificación por medios físicos.

Con el fin de contar con un panorama más amplio a este respecto se incluyen en el presente capítulo, los siguientes tipos generales de modificación de almidones: genética, química, física y enzimática, contemplando en los casos así requeridos la combinación de estos tipos de modificación.

#### MODIFICACION GENETICA

La síntesis de almidón, forma y tamaño de los gránulos, cantidad de almidón en la materia prima y la relación de amilosa/amilopectina en los almidones se rige genéticamente, por lo que a través de manejo de condiciones de cultivo y cambios genéticos, se ha logrado desarrollar algunos tipos de almidón, (de maíz principalmente), con altos contenidos de amilosa o de amilopectina, lo cual se ve reflejado en sus propiedades funcionales (como se estudió en el capítulo IV); así como variaciones en la forma y tamaño de los gránulos.

Otras características que pueden ser modificados genéticamente son: el porcentaje de polisacáridos solubles en agua, la cantidad de azúcares, la birrefringencia de los gránulos bajo luz polarizada, la digestibilidad del almidón y el patrón de difracción de rayos X. (20).

Este tipo de modificación no ha tenido un fuerte desarrollo comercial en comparación con otros mecanismos, aunque es un campo con amplias posibilidades de desarrollo; el cual se ha orientado principalmente a la obtención de almidón con diferentes relaciones amilosa/amilopectina.

El almidón más conocido dentro de los modificados genéticamente es el almidón de maíz waxy o ceroso, que se obtiene a partir de una variedad encontrada en China, la cual se cree que debe su modificación a la influencia del ambiente y condiciones de cultivo, ocasionando un cambio en el cromosoma 9 de la planta que produce un alto contenido de amilopectina, (41,42) que ha seguido desarrollándose y está muy difundido comercialmente, tanto como almidón nativo como materia prima para otros almidones modificados.

La investigación genética se ha orientado también a la obtención de un mutante de maíz que presente un alto porcentaje de amilosa sin que disminuya la cantidad global de almidón.

Para las modificaciones genéticas generalmente se trabaja con maíz debido a la facilidad de producción de mutantes, híbridos, y la relativa sencillez de manejo de la semilla para modificación de cromosomas (41), aunque es importante considerar que las características logradas se llegan a perder muy fácilmente.

El proceso de modificación genética es largo, ya que debe identificarse el gen responsable y el cromosoma a seleccionar para cada tipo de modificación deseada, por lo que su estudio requiere de tiempo, equipo y control estricto de los factores externos (luz, temperatura de cultivo, humedad).

#### **MODIFICACION QUIMICA**

Un almidón modificado químicamente es aquel en el que se ha alterado la estructura química de algunas de las unidades de glucosa, o en el que se han logrado cambios de sus propiedades funcionales y características generales a través de la utilización de medios químicos.

Durante la modificación química pueden afectarse los enlaces glucosídicos y dependiendo del método, presentarse alteraciones químicas como oxidación de algunos grupos hidroxilo a aldehídos, cetonas ó carboxilos, pudiéndose ocasionar también rearrreglos moleculares.

Este grupo de modificación es el más amplio tanto por la variedad de almidones que se obtienen, como por los diferentes tratamientos y el campo de aplicación de estos productos.

Por lo anterior, para facilitar el estudio de los almidones modificados químicamente se han subdividido de acuerdo al tipo de tratamiento y al cambio obtenido en las moléculas de almidón.

#### **Conversión por Hidrólisis:**

Comparados con los almidones nativos, la hidrólisis produce moléculas de menor longitud, pudiendo llegar hasta la obtención de moléculas de glucosa, solubles en agua fría.

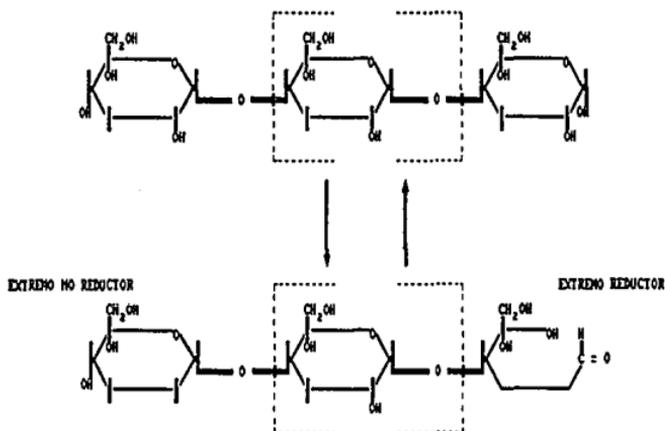
Mediante una hidrólisis ácida del almidón en una suspensión acuosa se producen los llamados almidones delgados, que al estar calientes son fluidos y traslúcidos, pero durante el enfriamiento pueden formar geles rígidos y opacos (como es el caso del almidón de maíz delgado); o, de acuerdo al grado de conversión y tipo de almidón de que se parte, pueden obtenerse dispersiones claras y de viscosidades relativamente bajas (37,42,13).

La conversión se lleva a cabo en suspensiones acuosas concentradas de almidón al 40-44% a temperaturas cercanas a 50 °C, misma que es menor a la de gelatinización del almidón. Como catalizadores se utilizan generalmente el ácido sulfúrico o el ácido clorhídrico, (aprox. 1%). Cuando se ha logrado la viscosidad deseada (medida a través de la cocción del almidón y su evaluación), se neutraliza el ácido con la adición de hidróxidos o carbonatos y el almidón convertido se recupera por filtración y secado (37).

Otro producto obtenido por medio de hidrólisis son las dextrinas, las cuales se obtienen por medio de una hidrólisis del almidón en seco, con vapores de ácido clorhídrico. Las dextrinas forman excelentes películas, aunque su susceptibilidad a reacciones de obscurecimiento limita su aplicación en ciertos alimentos.

La reacción básica en la conversión por hidrólisis es un rompimiento de los enlaces glucosídicos alfa 1-4 y alfa 1-6, con la reducción subsecuente del tamaño de molécula. En la figura 22 se muestra un esquema de esta reacción.

Figura 22. Reacción de hidrólisis



Fuente: Luallen, T.E.; Structure, Characteristics, and Uses of some typical Carbohydrate Food ingredients, Cereal Foods World, Vol.33, #11, 1988, pág.925 (27)

Con la conversión se reduce la viscosidad de los almidones, facilitando la obtención de soluciones a concentraciones mayores y más fácilmente dispersables.

Con tratamientos de hidrólisis ácida más severos puede lograrse la obtención de jarabes y azúcares.

En este tratamiento, se utilizan lechadas de almidón que contienen entre 35 y 40 % de sólidos, las cuales se someten a cocción y a hidrólisis ácida con vapor simultáneamente.

Cuando se tiene el grado de conversión deseado se neutraliza la solución, el jarabe se clarifica y decolora con carbón activado a través de un filtro prensa y en algunas ocasiones se emplean resinas de intercambio para eliminar sales. Posteriormente el jarabe se evapora a vacío hasta la concentración deseada (13,28,35).

Los productos finales de la hidrólisis están determinados al azar, conteniendo desde dextrosas hasta oligosacáridos y dextrinas. Sin embargo, si la conversión se realiza a velocidad suficientemente rápida, la mayor parte del material se convierte a dextrosa. Al mismo tiempo, pequeñas cantidades de dextrosa pueden recombinarse formando compuestos de alto peso molecular conocidos como productos de reversión, que pueden impartir sabores amargos al jarabe.

#### **Conversión por Oxidación:**

A través de este proceso de modificación se reduce el peso molecular del almidón y la viscosidad de las soluciones, con la generación de grupos carboxilos libres.

El proceso provoca una oxidación de los grupos hidroxilo hacia aldehídos, cetonas y grupos carboxilos, así como una ruptura molecular. La formación de grupos carboxilo y su presencia en la amilosa reduce la tendencia de ésta a la asociación o retrogradación e imparte una carga que puede ocasionar la repulsión entre moléculas (18).

Como resultado de esta modificación los almidones oxidados tienen una mayor resistencia a la gelatinización y formación de pastas que los almidones nativos de la misma viscosidad, siendo muy utilizados en panadería por la textura que proporcionan (13).

Los almidones oxidados se elaboran por medio de reacciones en suspensiones acuosas de almidón empleando hipoclorito de sodio como agente de conversión.

El agente oxidante (hipoclorito de sodio) se prepara in situ, por medio de la difusión de cloro en una solución diluida de sosa caústica, enfriada a una temperatura de 4 °C aproximadamente (13,42).

Durante la reacción deben controlarse el pH, temperatura y concentraciones de hipoclorito, álcali y almidón.

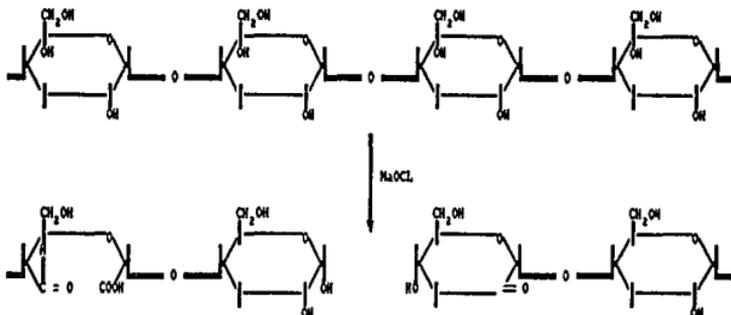
La concentración de almidón en la suspensión acuosa debe ser de 18 a 24 °Bé (33 a 44 % de almidón seco); el pH se ajusta entre 8 y 10, con una solución de hidróxido de sodio al 3 %, para neutralizar las sustancias ácidas producidas, y la solución de hipoclorito, conteniendo 5 -10 % de cloro disponible se agrega durante todo el tiempo de la reacción.

La temperatura de la reacción de oxidación exotérmica se controla entre 21 y 38 °C por medio de la adición de la solución de hipoclorito o por enfriamiento (41,42).

Cuando se ha logrado el nivel de modificación deseado, el cual se determina a través de la viscosidad desarrollada con la cocción, se detiene la reacción bajando el pH a un nivel entre 5 y 7, eliminando el exceso de cloro con una solución de bisulfito de sodio. El almidón se separa de la mezcla de reacción por filtración o centrifugación, lavándose para eliminar los subproductos y sales.

En la oxidación del almidón de papa con hipoclorito se ha observado que la presencia de iones bromo y cobalto ejerce un efecto catalítico a pH de 9 a 10 incrementando la velocidad de oxidación, que se detecta por un decremento en el contenido de cloro activo y una disminución del pH a 7, estas características pueden emplearse para detectar el punto final del proceso de modificación. En la figura 23 se muestra la reacción de oxidación.

Figura 23. Reacción de oxidación



Fuente: Luallen, T.E.; Structure, Characteristics, and Uses of some typical Carbohydrate Food ingredients, Cereal Foods World, Vol.33, #11, 1988, pág.925 (27)

### **Modificación por entrecruzamiento y por sustitución de enlaces:**

La modificación por entrecruzamiento de enlaces y la modificación por sustitución son las más comunes para almidones empleados en alimentos procesados.

Por medio del entrecruzamiento de enlaces, se minimiza la tendencia del almidón nativo a una disminución brusca de su viscosidad, manteniéndose esta en su nivel máximo y reduciéndose su sensibilidad a variaciones de pH, además de ser más resistente a altas temperaturas y a la agitación.

El comportamiento de estos almidones durante la cocción depende de la extensión de cruzamiento de enlaces (7,41); un tratamiento ligero fortalece el gránulo lo suficiente para prevenir su ruptura prematura, extendiendo el período durante el cual el almidón presenta su máxima hidratación y pudiendo realmente aumentar la viscosidad y evitar la brusca disminución de ésta. En almidones con alta tendencia a la ruptura, como el de tapioca o de maíz ceroso se pueden transformar sus soluciones en pastas untables.

Al incrementarse el nivel de cruzamiento de enlaces se llega a un punto en el que se inhibe el hinchamiento de los gránulos, evitándose la hidratación completa, lo cual provoca una disminución de la viscosidad.

Ajustando el nivel y el tipo de entrecruzamiento de enlaces es posible obtener almidones que muestren su máxima viscosidad o hidratación a cualquier pH, así como para procesos en los que se utilizan altas temperaturas.

La base de esta modificación es el tratamiento del almidón nativo con agentes di o polifuncionales, capaces de interaccionar con los grupos hidroxilo de las moléculas de almidón, bajo condiciones en las que los gránulos no están hinchados, para formar un puente entre dos cadenas moleculares.

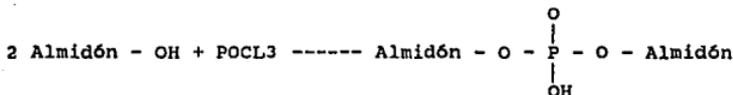
Como agentes de entrecruzamiento de enlaces se pueden emplear mezclas anhidras de ácido cítrico y acético ó ácido adipico, metafosfatos, epíclorhidrina, y otros (13,42).

Las reacciones se realizan en los gránulos intactos en suspensiones acuosas, bajo condiciones favorecedoras a la reacción. Una molécula de agente de entrecruzamiento de enlaces puede reaccionar con hidroxilos de dos moléculas de

almidón diferentes, formando un puente químico que refuerza los puentes hidrógeno responsables de la integridad del gránulo.

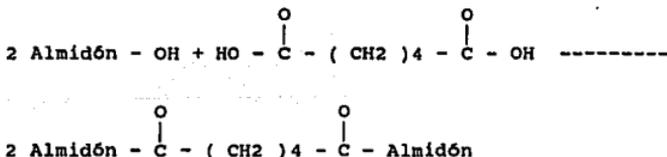
Se requieren pocos puentes de este tipo para endurecer el gránulo, por lo que las cantidades de agentes químicos requeridas son muy pequeñas. Después de la reacción, se elimina el remanente de agentes químicos por medio de un lavado y el almidón se filtra y se seca.

Figura 24. Reacción con difosfato



Fuente: Whistler, R.; Paschall, E. Starch: Chemistry and technology, Vol. I, pág. 463 (41)

Figura 25. Reacción con ácido adípico

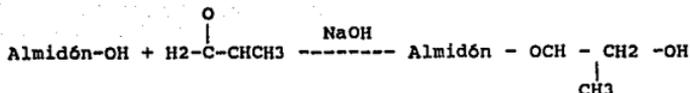


Fuente: Whistler, R.; Paschall, E. Starch: Chemistry and technology, Vol. I, pág. 465 (41)

La sustitución de enlaces puede manejarse como un entrecruzamiento a niveles mayores o como otro tipo de modificación; sin embargo, dado que el principio es el mismo es decir una modificación química de los enlaces o el grupo hidroxilo de las unidades de glucosa de las moléculas de almidón podemos estudiarlas como un mismo subgrupo.

En la sustitución se utilizan agentes monofuncionales para producir acetatos de almidón, succinatos de almidón y derivados hidroxipropilos, como se puede apreciar en las siguientes reacciones:

Figura 26. Reacción con óxido de propileno



Fuente: Furia, Handbook of Food additives, The chemical Rubber Co., USA, 1968, pág. 325 (13)

Figura 27. Reacción con anhídrido acético



Fuente: Furia, Handbook of Food additives, The chemical Rubber Co., USA, 1968, pág. 326 (13)

Los almidones modificados por sustitución que se comercializan actualmente, son en su mayoría elaborados por reacciones en el almidón en forma de gránulo. Generalmente éstas se realizan en suspensiones acuosas con lo que se simplifica la purificación y se eliminan los agentes químicos remanentes y subproductos, por medio de lavado. Las propiedades de estos almidones dependen de la naturaleza y nivel de la sustitución (42).

Bajos niveles de sustitución actúan sobre la amilosa reduciendo la retrogradación al interferir con su tendencia a asociarse, además de aumentar la habilidad de captación de agua, por medio de la prevención de asociación a través de puentes de hidrógeno. Sin embargo, a niveles altos se reduce la afinidad del almidón por el agua, e incluso puede volverse insoluble debido a que los grupos acetilo son menos hidrofílicos que los hidroxilo.

Un segundo efecto de la sustitución en los gránulos de almidón es la pérdida de las fuerzas que mantienen intacto al gránulo; esto se refleja en una disminución de la temperatura de gelatinización y un incremento en la velocidad de cocción.

Dependiendo de la naturaleza de los grupos sustituyentes esta modificación puede impartir diferentes características y propiedades fisicoquímicas al almidón (41).

Con sustituyentes que contienen grupos hidrofílicos como carboxilos se puede reducir la temperatura de gelatinización marcadamente e incrementarse la viscosidad. Los grupos aniónicos como carboxilatos o fosfatos hacen al almidón más reactivo con grupos metálicos polivalentes, en tanto que la introducción de grupos hidrófobos imparte propiedades estabilizantes-emulsificantes al almidón.

#### **MODIFICACION POR MEDIOS FISICOS**

Este tipo de modificación involucra un secado doble o en dos etapas del almidón para incrementar la habilidad de captación de agua de los gránulos. Existen dos tipos de almidones modificados por medios físicos, los precocidos o pregelatinizados y los gránulos de almidón instantáneos.

Los almidones pregelatinizados se obtienen a través de un proceso de secado en tambores rotatorios, por extrusión o por medio de secado por espreado con lo que se obtiene un incremento importante en el porcentaje de gránulos de almidón intactos llegando a ser esta hasta del 50 %. Dependiendo de los niveles de modificación y de las técnicas empleadas se puede lograr una gran variedad de almidones pregelatinizados, que pueden aplicarse en productos precocidos o en alimentos de cocción rápida (10).

Los gránulos de almidón instantáneos se obtienen por medio de solventes tales como hidróxido de sodio e hidróxido de potasio, que interactúan con los grupos hidroxilo permitiendo la captación de agua y el hinchamiento de los gránulos, sin necesidad de calentamiento, con lo que se producen gránulos intactos y altamente hidrofílicos lo que les da buenos atributos de claridad y textura (15).

#### **MODIFICACION FISICO-QUIMICA.**

##### **Conversión seca o piroconversión:**

Cuando se desean productos parcial o completamente solubles en agua fría se utilizan conversiones secas o dextrinizaciones que implican el empleo de calor, por lo que algunas veces son llamadas piroconversiones; sin embargo, dado que se emplean

reactivos y se lleva a cabo una modificación química, este tipo de almidones pueden considerarse como modificados a través de una combinación de tratamientos físico y químicos.

El almidón se modifica en estado sólido. Primeramente se equilibra el contenido de humedad en un intervalo de 2 a 5 %, con un secado previo del almidón, posteriormente la conversión es iniciada y mantenida con calor, controlándose mediante factores auxiliares como ácidos, buffers y el contenido de humedad del almidón (10,13).

La conversión típica involucra un esparido del polvo que puede tener de 5 a 20 % de humedad, dependiendo de la conversión deseada, como se explica más adelante, con una solución diluida de un ácido volátil como ácido clorhídrico, o tratándolo con un buffer como carbonato de amonio o fosfato trisódico y calentando. El proceso se detiene generalmente a través del enfriamiento del almidón.

Durante el proceso de modificación se presentan cuatro etapas generales (13,42):

- 1) Acidificación
- 2) Secado del almidón nativo
- 3) Piroconversión
- 4) Enfriamiento

La etapa principal o crítica es la de piroconversión, en la cual se llevan a cabo tres reacciones principales:

a) Hidrólisis.- Se rompen los enlaces glucosídicos alfa 1-4 y alfa 1-6, reduciéndose tanto el tamaño de moléculas como la viscosidad y aumentando el poder reductor. Esta reacción se favorece con el calor, ácido y humedad.

b) Transglucosidación.- En esta fase se lleva a cabo un reacondo de moléculas, que conducen a un mayor número de ramificaciones. No se altera el peso molecular del almidón, ni el valor reductor, pero se aumenta la estabilidad de las soluciones de dextrina al disminuir la cantidad de componentes lineales.

La reacción se ve favorecida por el calor y aparentemente limitada por la humedad.

c) Repolimerización.- En presencia de ácido y con altas temperaturas la glucosa puede polimerizarse, reduciéndose el valor reductor.

Con humedad (aprox. 20 %), alta acidez y temperaturas de conversión relativamente bajas (120°C) predomina la reacción de hidrólisis (42) y se obtiene como producto dextrinas blancas que cubren un amplio rango de viscosidades y solubilidad en agua fría, dependiendo del grado de conversión. En general tienen un color claro, solubilidad en agua fría relativamente baja y sus dispersiones tienden a una estabilidad limitada. El grado de polimerización promedio es de 20 y son bastante solubles en agua con la aplicación de calor.

Con cantidades de ácido moderadamente altas, baja humedad (aprox. 5 %) y temperaturas elevadas, (180°C), la principal reacción se produce en la etapa inicial del proceso de modificación ( hidrólisis ), predominando posteriormente las otras dos, (transglucosidación y repolimerización), obteniéndose dextrinas amarillas que presentan baja viscosidad y una solubilidad en agua casi total (41,42). El grado de polimerización va de 20 a 50 y son más solubles, estables y oscuras que las dextrinas blancas de viscosidad comparable.

Con pequeñas cantidades de ácido, en algunos casos buffers y altas temperaturas, la reacción predominante es la transglucosidación, una vez que se efectúa la hidrólisis inicial (13).

En estas condiciones se obtienen las gomas "Británicas", cuya viscosidad no es tan baja como la de dextrinas y que se caracterizan por ser más oscuras, más solubles en agua fría y con un valor reductor menor que las dextrinas blancas para una misma viscosidad. Además, sus soluciones son mucho más estables que las de dextrinas blancas.

#### **Almidones modificados pregelatinizados.**

Este tipo de almidones se obtienen a través de una modificación química inicial y la pregelatinización posterior.

La gama de combinaciones posibles es realmente amplia, ya que prácticamente cualquier tipo de almidón modificado químicamente (a excepción de hidrolizados y dextrinas), puede someterse a un tratamiento térmico con el fin de darle una pregelatinización y obtener productos específicos para los diversos requerimientos comerciales de aplicación de almidones.

#### **MODIFICACION ENZIMATICA.**

Se utiliza principalmente para la obtención de jarabes y azúcares, como un tratamiento alterno a la hidrólisis ácida.

Esta modificación es muy común para el almidón de maíz ya que a partir de éste y por medio de hidrólisis de los enlaces glucosídicos se obtienen productos como glucosa, maltosa y oligosacáridos, que se pueden comercializar como jarabes, azúcar líquido, spray seco de jarabes o azúcares, dextrosa cristalina (24,28).

En la hidrólisis enzimática se utilizan enzimas amilolíticas las cuales contienen alfa y beta amilasas, que por su acción específica sobre los enlaces, presentan un patrón de hidrólisis diferente al de la conversión ácida, obteniéndose mayores proporciones de maltosa en los jarabes.

Otras enzimas que se pueden emplear son las glucosidasas que producen mezclas con altas proporciones de dextrosa o glucosa; sin embargo, por razones económicas resulta más conveniente la utilización de hidrólisis mixta, empleando como fase inicial la conversión ácida y como terminal la enzimática.

El nivel de conversión en hidrólisis de almidón se mide con el equivalente de dextrosa (E.D.), que indica el contenido de azúcares reductores calculado como porcentaje de dextrosa anhidra en la materia seca total. La dextrosa pura tiene un E.D. de 100.

En base a este equivalente se pueden clasificar los jarabes de almidón en cinco clases generales, las cuales se resumen en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Tipos de jarabe

E.D.	TIPO DE JARABE
28 - 38	Baja conversión
38 - 48	Conversión Regular
48 - 58	Conv. Intermedia
58 - 68	Alta Conversión
68 -	Conv. Extra Alta

Fuente: Furia, Handbook of Food additives, The chemical Rubber Co., USA, 1968, pág. 332 (13)

El equivalente de dextrosa y por lo tanto el tipo de jarabe influye de manera importante en las propiedades funcionales de éstos como se muestra en el Cuadro 9, para jarabes de maíz.

Cuadro 9. Propiedades funcionales y usos de los jarabes de maíz

PROPIEDAD O USO	TIPO DE JARABE			
	CONVERSION:			
	BAJA	REGULAR	INTERMEDIA	ALTA
Agente de cuerpo	Mayor			Menor
Reacc. de obsc.	Menor			Mayor
Cohesividad	Mayor			Menor
Fermentabilidad	Menor			Mayor
Higroscopicidad	Menor			Mayor
Dulzura	Menor			Mayor
Viscosidad	Mayor			Menor

Fuente: Luallen, T. Struct., Charact. and uses of some typical carbohydrate food ingredients, pág. 926 (27)

Como puede verse en la Cuadro 9 a través del grado de conversión puede obtenerse una amplia gama de tipos de jarabe, que pueden ser empleados en diversos sistemas alimenticios e industriales de acuerdo a las propiedades desarrolladas por cada uno de ellos.

## UTILIZACION DE LOS ALMIDONES COMO ADITIVOS ALIMENTARIOS

Desde el punto de vista nutricional los almidones constituyen un fuente importante de calorías (4 cal/g); sin embargo, esa no es la razón fundamental para su aplicación como aditivo en alimentos, sino sus propiedades que imparten características específicas a sistemas alimenticios que facilitan su procesamiento.

Por estas características, los almidones se pueden emplear como agentes de aporte de textura, agentes de flujo, de moldeo, o captadores de humedad (6). Dependiendo de la aplicación y de las propiedades auxiliares requeridas se puede emplear almidón nativo o almidones modificados. Dentro de las cualidades que proporcionan se encuentran:

### Agentes adsorbedores de humedad:

Se emplean almidones modificados por medios físicos, con una humedad de 1.5 a 7.5 % (15). Pueden utilizarse en polvos para repostería, en la elaboración de azúcar o en otros procesos donde es importante proteger a los ingredientes en polvo contra la absorción de humedad y preservar sus características funcionales, ó para facilitar la dosificación de algunos ingredientes (por ejemplo saborizantes), al actuar el almidón como un agente protector y de flujo.

### Agentes de flujo:

Los almidones modificados químicamente con la introducción de grupos hidrófobos a bajos niveles de sustitución son los más utilizados para impartir propiedades de flujo a los polvos, al mantener la humedad de éstos en porcentajes bajos (13).

Estos almidones también se emplean para formar una capa protectora contra el endurecimiento en productos de panificación, actuando en este caso como adsorbedores de humedad (20).

### Agentes de moldeo:

Almidones de maíz nativos y modificados se usan en la elaboración de dulces de goma y centros, para formar moldes que puedan emplearse en el proceso para obtener una forma o impresión deseada. Para esta aplicación se incrementa la adhesión entre los gránulos con el esparado de pequeñas cantidades de ácidos minerales y otros aditivos oleosos como monoglicéridos. Una vez formada la pasta de almidón se

fabrican los moldes y se procede a la elaboración de los dulces, cuidando que los ingredientes no sean miscibles con el almidón y que este último no reaccione con algún componente impartiendo sabores extraños o indeseables. Estos moldes de almidón pueden reutilizarse al someterse a un nuevo secado (15).

#### **Agentes modificadores de textura:**

Este es el campo de aplicación más amplio de los almidones, ya que comprende desde soluciones o dispersiones de almidón hasta geles o soluciones trixotrópicas. La selección del almidón dependerá de las características reológicas y de textura deseadas así como de las condiciones de proceso.

Los almidones nativos se usan como agentes espesantes, gelificantes y coadyuvantes de proceso, al igual que algunos almidones modificados como los llamados almidones delgados (42).

Como modificadores de textura final los almidones modificados son ampliamente utilizados, siendo la modificación por entrecruzamiento de enlaces la más comúnmente empleada (41), ya que los productos obtenidos presentan un alto poder espesante y un amplio intervalo de texturas sin que se perciba la elasticidad que se manifiesta con los almidones nativos.

Dentro de este tipo de almidones, los de sorgo y maíz se utilizan cuando el producto final no requiere claridad o gelificación, en tanto que los de tapioca y papa aportan generalmente mayor viscosidad y claridad (37,41).

Los almidones modificados por entrecruzamiento de enlaces y estabilizados con grupos como acetilos, hidroxipropilos ó fosfatos se utilizan en alimentos que requieren ser almacenados a bajas temperaturas, ya que presentan menos cambios en su habilidad captadora de humedad y en su claridad, que los almidones nativos.

En la industria enlatadora se emplean almidones para alimentos como sopas, salsas, rellenos para pays, alimentos para bebés, cremas, etc., actuando como ayudas de proceso para espesamiento y suspensión de sólidos durante el proceso de llenado, así como aportadores de viscosidad final después del tratamiento térmico.

En panificación se utilizan almidones como aditivos para modificar las características de la harina de trigo o como modificadores de textura (21). Los más comúnmente empleados son los almidones modificados por entrecruzamiento de enlaces, los modificados por sustitución y los almidones pregelatinizados, que contribuyen a la estabilidad, claridad, brillantez y homogeneidad en textura de productos como rellenos de fruta para pays, rellenos cremosos, imitación de gelatinas cremosas, batidos, etc (13).

Otra aplicación de los almidones es en la elaboración de aderezos de mayonesa, en los que actúan como agentes estabilizantes y aportadores de textura, pudiendo emplearse en un 4 - 6 % (28).

En la industria de dulces también es común el uso de almidones como agentes espesantes o gelificantes, especialmente en dulces tipo gomas o en dulces con rellenos semigelificados.

#### **Agentes formadores de películas:**

La capacidad de los almidones delgados o fluidos, así como de las dextrinas para formar películas homogéneas y resistentes es aprovechada en la industria alimentaria para la formación de capas protectoras y decorativas en algunos alimentos, (panes principalmente), para elaborar matrices transportadoras de sustancias alimenticias (en encapsulación) y como agentes ligantes en algunos alimentos (21).

Las películas de almidón, además de ofrecer protección física son una buena barrera a grasas, por lo que se emplean en la industria chocolatera para evitar la migración de estas.

#### **Empleo de jarabes y azúcares derivados de almidón:**

Finalmente, los almidones que se modifican para la obtención de jarabes y azúcares, son empleados en alimentos, por el poder edulcorante de estos productos y su bajo costo, que permite su utilización como sustitutos de sacarosa o como complementos de ésta en numerosos productos, ya que también tienen otras propiedades como la inhibición de la cristalización de sacarosa y otros azúcares, alta capacidad de fermentación conforme aumenta el equivalente de dextrosa (cualidad muy apreciada en panificación), inhibición de reacciones de oxidación y buena capacidad higroscópica (13,28,41).

Por todas estas características, los jarabes obtenidos de almidones se pueden aplicar en enlatados, productos lácteos, bebidas, panificación, y otras ramas de la industria de alimentos, dependiendo del equivalentes de dextrosa que presentan y de las propiedades inherentes a éste.

En el cuadro 11, se puede observar en forma resumida, la aplicación posible de cada tipo de almidón modificado, aunque como ya se mencionó anteriormente el campo global de utilización puede incrementarse al emplear combinaciones de los métodos de aplicación o mezclas físicas de diversos tipos de almidones.

Cuadro 10. Características y aplicación de los almidones modificados.

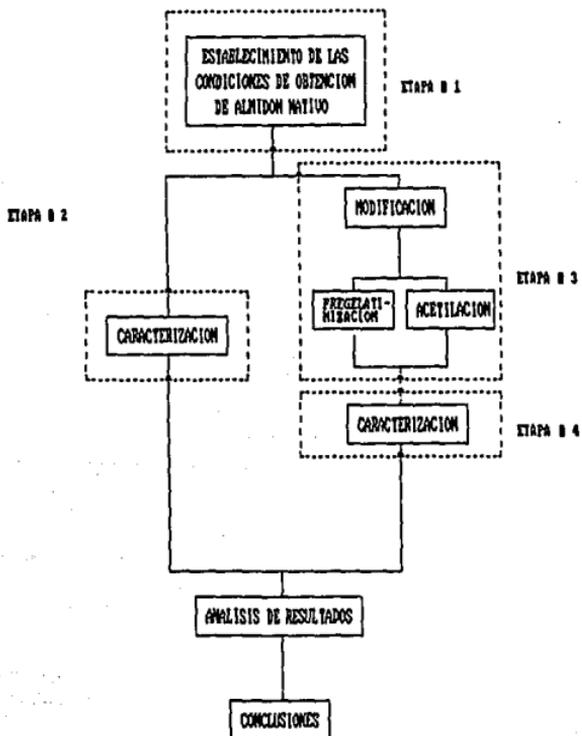
MODIFICACION	EFFECTOS OBTENIDOS Y CARACTERISTICAS	APLICACIONES
GENETICA MODIFICACION A NIVEL DE CULTIVO	ALTO CONTENIDO DE AMILOSA - RESISTENCIA A LA COCCION - GELES OPACOS Y FIRMES - PELICULAS RESISTENTES  ALTO CONTENIDO DE AMILOPECTINA - FORMAN SOLUCIONES ESTABLES - RAPIDA COCCION	BUENOS AGENTES DE MOLDEO EN FABRICACION DE DULCES.  AGENTES ESPESANTES
HIDROLISIS MODIFICACION QUIMICA	MOLECULAS DE MENOR LONGITUD - INCREMENTO DE SOLUBILIDAD EN AGUA FRIA - OBTENCION DE GELES RIGIDOS Y OPACOS - SOLUCIONES FLUIDAS Y CLARAS EN CALOR - FACILIDAD DE OBTENCION DE DISPERSIONES CLARAS Y VISCOSIDADES RELATIVAMENTE BAJAS  OBTENCION DE JARABES Y AZUCARES - INCREMENTO DEL PODER EDULCORANTE - INHIBICION DE CRISTALIZACION DE SACAROSA Y OTROS AZUCARES - ALTA CAPACIDAD DE FERMENTACION - INHIBICION DE REACCIONES DE OXIDACION - BUENA CAPACIDAD MICROSCOPICA	AGENTES ESPESANTES, GELIFICANTES Y COADYUVANTES DE PROCESO.  SUSTITUTOS DE SACAROSA O COMPLEMENTOS DE ESTA.  PANIFICACION
OXIDACION MODIFICACION QUIMICA	MOLECULAS DE MENOR LONGITUD CON GENERACION DE GPDS. CARBOXILO LIBRES - IMPARTICION DE CARGA A LAS MOLECULAS - DISMINUCION DE LA TENDENCIA A ASOCIACION O RETROGRADACION - MAYOR RESISTENCIA A LA GELATINIZACION Y FORMACION DE PASTAS	EN PANADERIA COMO PELICULAS PROTECTORAS Y/O DECORATIVAS  COMO AGENTES LIGANTES EN ENCAPSULACION.
SUSTITUCION MODIFICACION QUIMICA	SUSTITUCION EN EL GRUPO HIDROXILO DE LAS MOLECULAS DE ALMIDON PARA PRODUCIR ACETATOS DE ALMIDON, SUCCINATOS DE ALMIDON Y DERIVADOS HIDROXIPROPILOS - DISMINUCION DE LA TEMPERATURA DE GELATINIZACION - AUMENTO EN LA VELOCIDAD DE COCCION  CON BAJOS NIVELES DE SUSTITUCION: - PREVENICION DE LA RETROGRADACION - AUMENTO DE LA CAPACIDAD MICROSCOPICA  CON ALTOS NIVELES DE SUSTITUCION: - REDUCCION DE LA CAPACIDAD MICROSCOPICA	AGENTES DE FLUJO PARA POLVOS  PELICULAS PROTECTORAS CONTRA EL ENDURECIMIENTO EN PANADERIA  ESTABILIZANTES EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS ALMACENADOS A BAJAS TEMPERATURAS  APORTE DE ESTABILIDAD, CLARIDAD, BRILANTES Y HOMOGENEIDAD EN TEXTURA DE PRODUCTOS DE REPOSTERIA.

CUADRO 18 (CONTINUACION). CARACTERISTICAS Y APLICACION DE LOS ALMIDONES MODIFICADOS

MODIFICACION	EFFECTOS OBTENIDOS Y CARACTERISTICAS	APLICACIONES
<p>PIROCONVERSION MODIFICACION FISICA-QUIMICA</p>	<p>HIDROLISIS, TRANSGLUCOSIDACION Y POLIMERIZACION</p> <p>CON ALTA HUMEDAD, ALTA ACIDEZ Y TEMPERATURAS RELATIVAMENTE BAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ALTO PODER REDUCTOR</li> <li>- AMPLIO INTERVALO DE VISCOSIDADES Y SOLUBILIDAD EN AGUA FRIA DE ACUERDO AL GRADO DE CONVERSION</li> <li>- ESTABILIDAD DE SOLUCIONES LIMITADA</li> <li>- ALTA SOLUBILIDAD CON CALOR</li> </ul> <p>CON ACIDEZ MODERADAMENTE ALTA, BAJA HUMEDAD Y TEMPERATURAS ALTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BAJAS VISCOSIDADES</li> <li>- SOLUBILIDAD EN AGUA CASI TOTAL</li> </ul> <p>CON ACIDEZ BAJA Y ALTA TEMPERATURA:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- VISCOSIDADES MODERADAMENTE BAJAS</li> <li>- ALTA SOLUBILIDAD EN AGUA FRIA</li> <li>- FORMACION DE SOLUCIONES ESTABLES</li> </ul>	<p>AGENTES MODIFICADORES DE TEXTURA</p>
<p>PREGELATINIZACION MODIFICACION FISICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GRANULOS ALTAMENTE HIDROFILICOS A TEMPERATURA AMBIENTE.</li> </ul>	<p>APORTE DE ESTABILIDAD, CLARIDAD, BRILLANTEZ Y HOMOGENEIDAD EN TEXTURA EN PRODUCTOS DE REPOSTERIA</p>
<p>ENTRECruzAMIENTO DE ENLACES MODIFICACION QUIMICA</p>	<p>INTERACCION DE LOS GPDS, HIDROXILO DEL ALMIDON CON AGENTES DI O POLIFUNCIONALES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DISMINUYE LA TENDENCIA A LA REDUCCION BRUSCA DE VISCOSIDAD EN LA COCCION</li> <li>- REDUCCION EN LA SENSIBILIDAD A CAMBIOS DE PH</li> <li>- AUMENTO EN LA PERSISTENCIA A ALTAS TEMPERATURAS Y A EFECTOS DE CORTE</li> <li>- DISMINUYE LA TENDENCIA A RUPTURA DEL GRANULO CON EL SUBSECUENTE AUMENTO DE LA VISCOSIDAD MAXIMA DESARROLLADA</li> <li>- POSIBILIDAD DE TRANSFORMACION DE SOLUCIONES A PASTAS UNTABLES</li> <li>- DESARROLLO DE VISCOSIDAD MAXIMA O HIDRATACION A CUALQUIER PH EN ALIMENTOS Y A ALTAS TEMPERATURAS</li> </ul> <p>CON ALTOS NIVELES DE ENTRECruzAMIENTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- INHIBICION DEL HINCHAMIENTO DE LOS GRANULOS EVITANDOSE LA HIDRATACION COMPLETA</li> </ul>	<p>AGENTES MODIFICADORES DE TEXTURA PARA ALIMENTOS COMO SOPAS, SALSAS, RELLENOS PARA PAYS, ALIMENTOS PARA BEBES, CREMAS, ETC.</p> <p>EN PANADERIA PARA MODIFICAR LAS CARACTERISTICAS DE LA HARINA DE TRIGO O COMO MODIFICADORES DE TEXTURA</p>

## 2.1.- DESGLOSE DE ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

Figura 28. Cuadro metodológico experimental



## Etapa 1.

### Optimización de las condiciones de obtención de almidón nativo, a nivel laboratorio.

Como materia prima se utilizó papa alfa que no cumple con los parámetros de calidad establecidos en la Norma Oficial Mexicana (anexo 1), adquirida en las bodegas de COCEM Atizapán. La papa se compró siempre en el mismo local procurando que su procedencia fuera constante (Los Mochis, Sinaloa), para disminuir el factor de variación por materia prima.

### Efecto del tamaño de partícula y tiempo de extracción en el rendimiento de almidón.

Se experimentó con tres niveles de variación seleccionados tomando como base las recomendaciones hechas en un estudio preliminar (32), para definir las condiciones óptimas de esta etapa. Se emplearon aberturas de criba de 1.0, 1.5 y 2.0 mm.

Se trabajó con tres diferentes tiempos de extracción, 10, 15 y 20 min.; seleccionados en base al estudio preliminar antes mencionado (32).

La experimentación se realizó en base a un diseño experimental factorial de  $3 \times 3$ , con las siguientes condiciones:

VARIABLES	Niveles de variación
Tamaño de partícula	1.0 mm
	1.5 mm
	2.0 mm
Tiempo de extracción	10 min.
	15 min.
	20 min.

### Constantes:

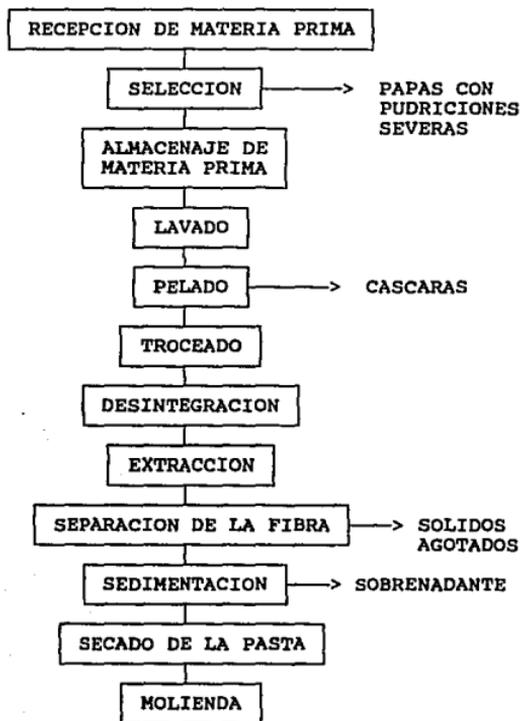
- Tiempo de sedimentación = 40 min.
- Velocidad de Agitación = 50 rpm
- Proceso

Variable de respuesta: Rendimiento.  
Número de experimentos: 9  
Réplicas: 2

La experimentación con tamaño de partícula y tiempo de extracción se encuentra relacionada entre sí, debido a lo cual se experimentó en forma simultánea, con el fin de evaluar la interrelación de ambas variables.

El almidón se obtuvo de acuerdo con el proceso siguiente.

Figura 29. Proceso de obtención de almidón a nivel laboratorio.



- Recepción de materia prima.- La papa se recibió empacada en arpillas de 20 Kg.

- Selección.- Se eliminaron las papas que presentaron pudriciones severas.

- Almacenaje de materia prima.- Se colocó la papa en cajas de cartón ventiladas, en un lugar fresco y seco, hasta su utilización en el proceso.

- Lavado.- El lavado se hizo en forma manual, con agua y cepillo, para eliminar las adherencias de suciedad en la cáscara.

- Pelado.- Se realizó con un pelador manual.

- Troceado.- Se cortaron las papas en trozos de 2-3 cm. para facilitar la etapa de desintegración.

- Desintegración.- Se utilizó un molino de tornillo, variando las aberturas de criba, de acuerdo a los requerimientos de experimentación, (1.0, 1.5 y 2.0 mm).

- Extracción.- Se puso en contacto la papa proveniente de la desintegración con agua en una relación de 1:3, bajo agitación constante (50 rpm), con un agitador de propela variando el tiempo de extracción de acuerdo a lo establecido en el diseño de experimentos, (10, 15 y 20 min.).

- Separación de la fibra.- Se eliminaron los sólidos agotados de la papa mediante un tamizado a través de malla No. 60 de la serie Tyler, con 3 lavados de sólidos empleando una cantidad constante de agua.

- Sedimentación.- Se le dió un tiempo de reposo a la lechada de 40 min. para permitir la sedimentación del almidón, el cual se separó posteriormente con la decantación del líquido sobrenadante.

- Secado.- La pasta de almidón obtenida en la etapa anterior se secó en una estufa de laboratorio, a una temperatura de 50 °C, con un espesor de pasta de 0.3 a 0.5 cm, en charolas de aluminio de 30 x 20 cm., hasta una humedad final de 13 %.

- Molienda.- El almidón seco se molió con fuerza de impacto hasta un tamaño de partícula con la siguiente distribución:

A través de malla No. 60 = 100 %

A través de malla No. 100 = 80 %

#### Determinación de rendimiento:

Se determinó el rendimiento de las operaciones de obtención de almidón a través del porcentaje del mismo extraído a partir de la materia prima inicial, para cada par de niveles manejados en la experimentación con las variables tamaño de partícula y tiempo de extracción.

Para evaluar el rendimiento se utilizó la sig. ecuación:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{A \text{ ex. (100)}}{A_o}$$

donde:

Aex. Almidón extraído (g)      Aex. = A<sub>o</sub> - A<sub>f</sub>  
A<sub>o</sub> = Almidón en los sólidos frescos (g)  
A<sub>f</sub> = Almidón en los sólidos agotados (g)

Para lo anterior se llevó a cabo la determinación de contenido de almidón en sólidos frescos y en sólidos agotados, por medio del método espectrofotométrico, (anexo 2).

#### Etapa 2 y 4.

**Caracterización: Efecto de concentración de almidón y pH en el desarrollo de viscosidad durante el calentamiento gradual.**

Se trabajó con un diseño experimental factorial de 3x3, con las siguientes condiciones:

Variables	Niveles de variación
Concentración	3 %
	4 %
	5 %
pH	3
	6
	9

#### Constantes:

- Velocidad de agitación: 100 rpm  
- Intervalo de temperaturas: De 58 a 90 °C, realizando la medición de viscosidad cada 2 °C.

Variables de respuesta:

- Viscosidad máxima, (para cada combinación de concentración y pH)

- Fuerza de gel (para concentración = 5%, pH= 3,6 y 9

Número de experimentos: 9 (para cada etapa)

Réplicas: 2

Se elaboraron dispersiones de almidón variando concentraciones y niveles de pH, para evaluar la influencia de estos factores sobre el desarrollo de las propiedades funcionales, durante el calentamiento gradual, específicamente propiedad espesante (midiendo la viscosidad con viscosímetro Brookfield RVT, huso No. 2, 50 rpm, haciendo el ajuste de peso con la adición de agua evaporada durante el calentamiento, el cual se llevó a cabo con una parrilla eléctrica) y propiedad gelificante (evaluando la fuerza de gel); manteniendo como constantes la velocidad de agitación a través de un agitador de propela y el intervalo de temperaturas; manejando como testigo el almidón nativo comercial.

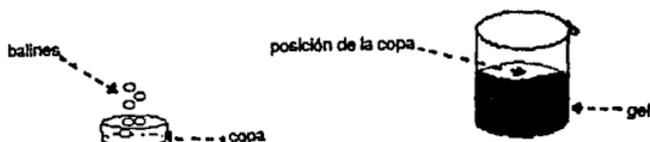
Se seleccionaron estos niveles de concentración tomando en cuenta que se encuentran por arriba de la concentración crítica, lo que comúnmente ocurre en su aplicación en sistemas alimenticios (4). Respecto a los niveles de pH se seleccionaron los mencionados anteriormente, dado que los almidones no presentan cambios significativos en el desarrollo de sus propiedades funcionales en un intervalo de pH de 5 a 7, (7), pero sí a pH menores a 5 y mayores a 7.

Respecto a las temperaturas a las cuales se realizó la evaluación de la viscosidad desarrollada, se eligió el intervalo de 58 a 90 °C porque de esta forma se puede evaluar el desarrollo global de viscosidad de las dispersiones, es decir, la viscosidad inicial, la máxima desarrollada y el descenso de la misma frente al calentamiento gradual.

Para la evaluación de la fuerza de gel se prepararon dispersiones de almidón al 5 %, las cuales fueron sometidas a calentamiento hasta una temperatura de 74 °C, para realizar el proceso de gelatinización, posteriormente se transfirió la solución a un recipiente cilíndrico de vidrio (diámetro=4 cm., altura=6cm), en el que se sometió a enfriamiento hasta 8°C, manteniéndose a esta temperatura durante 5 hrs. al cabo de las cuales se evaluó la fuerza del gel formado, colocando una copa metálica de 1.5cm de diámetro sobre el gel a la cual se adicionaron paulatinamente balines con un peso conocido hasta lograr el rompimiento del gel considerado al empezar a

penetrar la copa en este.

Figura 30. Esquema de la determinación de fuerza de gel.



### Etapa 3.

#### Modificación del almidón nativo.

Se realizaron dos tipos de modificación de almidón: acetilación y pregelatinización, por ser unas de las más utilizadas a nivel comercial y que permiten la obtención de almidones con un amplio campo de aplicación, a bajo costo de proceso y reactivos comparados con otras modificaciones químicas.

La acetilación confiere mayor estabilidad frente al calentamiento y cambios de pH, limitantes en el uso del almidón de papa, además de ser un proceso factible de realizarse a nivel laboratorio bajo condiciones más controladas.

En cuanto a la pregelatinización, esta permite la aplicación directa de almidón para productos instantáneos, sin necesidad de calentamiento, reduciendo así costos de proceso.

Por lo anterior se trabajó con la selección de las mejores condiciones de elaboración de estos almidones modificados.

Selección de las mejores condiciones de acetilación en función del tiempo de reacción para obtener el 2.5 % de acetilos.

Se trabajó en base a un diseño experimental factorial de 2x2, con las siguientes características:

Variables	Niveles de variación
Concentración de ácido acético	25 % 75 %
Catalizador	1 % Sin catalizador

**Constantes:**

- Concentración de almidón: 40 %
- Velocidad de Agitación: 100 rpm
- Temperatura de reacción: 30 °C

Variables de respuesta: Tiempo de reacción para 2.5% de acetilos y características fisicoquímicas y funcionales del almidón.

Número de experimentos: 4

Réplicas: 2

Las variables que se manejaron fueron:

- Concentración del agente de acetilación (ácido acético glacial al 25% y 75% en peso respecto al peso de almidón).
- El empleo de catalizador (cloruro de zinc al 1% en peso respecto al almidón) y la temperatura de reacción (30 °C)

Se seleccionó como agente de acetilación el ácido acético glacial ya que su manejo es más sencillo y menos peligroso, respecto a otros agentes tales como piridina y mezclas de anhídrido acético-piridina-ácido sulfúrico, (20). Las concentraciones a manejar se seleccionaron en base a estudios anteriores (41) tomando una concentración baja y una alta por tratarse de una variable continua lo que permite la interpolación de resultados para concentraciones intermedias.

Se seleccionó como punto final de la reacción un porcentaje de acetilos de 2.5 % ya que es el nivel máximo de acetilación permitido por la FDA para acetatos de almidón sin otro tipo de modificación en alimentos (FDA); así como para delimitar el estudio a la obtención de acetatos de almidón con bajo grado de sustitución (41), evaluándose mediante titulación (anexo 2).

Respecto al desarrollo de las propiedades funcionales espesante y gelificante, la evaluación se realizó mediante la caracterización del almidón en las mismas condiciones empleadas para la caracterización del almidón nativo. Es decir, con la variación de concentraciones y niveles de pH.

En cuanto al catalizador, se decidió evaluar el empleo del cloruro de zinc al 1% ya que se ha reportado como catalizador en la obtención de acetatos de almidón con otros agentes de acetilación sin que se presente degradación importante de los gránulos de almidón como con el uso de ácido sulfúrico como catalizador (42), pero no se ha estudiado su relación con el ácido acético glacial y temperaturas de reacción bajas.

Como temperatura de reacción se utilizó 30 °C, debido a que se recomienda el empleo de temperaturas relativamente bajas o ambientales para la obtención de acetatos de almidón de bajo grado de sustitución (<3% de acetilos).

Asimismo, se realizó la caracterización fisicoquímica de los acetatos de almidón, analizando el porcentaje de humedad, con el método de estufa a 70 °C; cenizas, con el método general; y grado de sustitución en la reacción de acetilación, calculado con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de sustituyente} = 100nz / [162 + n(z-1)]$$

donde:

z = peso molecular del sustituyente

n = grado de sustitución

por lo tanto,

$$\% \text{ de acetilos} = \frac{100n(60)}{[162 + n(60-1)]}$$

de donde,

$$n = \frac{162 A}{6000-59A}$$

#### Estudio de dos tipos de pregelatinización de almidón: física y química.

Se decidió trabajar con dos métodos de gelatinización para comparar la eficiencia de los tratamientos en la obtención de almidón pregelatinizado de papa. En la pregelatinización química se seleccionaron como agentes de modificación el KOH y NaOH por estar reportados como los de mayor eficiencia en estos tratamientos (20), además de ser altamente disponibles y se variaron las concentraciones de los mismos en los niveles mencionados para evaluar la influencia de la concentración en la obtención del producto final seleccionándose estos niveles por comprender la concentración crítica reportada (0.3-0.35 meq de hidróxido/g de almidón) (15, 41) y un exceso del agente para estudiar el efecto de

esto en el producto final.

Para la gelatinización con calor se realizó una dispersión de almidón al 40 %, gelatinizándose con calentamiento gradual bajo agitación, hasta 74 °C, (para cubrir el intervalo de temperaturas de gelatinización del almidón de papa), posteriormente se transfirió a un recipiente cilíndrico de vidrio sometándose a enfriamiento hasta 8 °C, manteniéndose a esa temperatura durante 5 hrs, para proceder a la evaluación de fuerza de gel.

En la gelatinización química ó en frío con la variación del agente empleado y la concentración de estos, se preparó una dispersión de almidón al 40 % a la cual se le agregó el agente gelatinizante, bajo agitación para lograr la incorporación del mismo.

En la gelatinización con calor se mantuvieron constantes las condiciones de tratamiento, (agitación 100 rpm y temperatura final de calentamiento = 74 °C., para realizar la comparación posterior entre los tratamientos (químico y físico).

Para la gelatinización en frío se empleó un diseño experimental factorial de 2x3, con las siguientes características:

Variables	Niveles de variación
Reactivo	Hidróxido de Sodio Hidróxido de Potasio
Concentración	0.3 meq/g alm. 0.5 meq/g alm. 0.7 meq/g alm.

Constantes:

- Concentración de almidón = 40 %
- Temperatura = 30 °C
- Velocidad de Agitación = 100 rpm

Variables de respuesta: viscosidad en frío, fuerza de gel  
Número de experimentos: 6  
Réplicas: 2

### 3.1.- ANALISIS DE RESULTADOS

#### Etapa 1.

Optimización de las condiciones de obtención de almidón nativo, a nivel laboratorio.

Para la realización de esta etapa se llevó a cabo el análisis del rendimiento obtenido, de acuerdo a lo planteado en la etapa experimental.

En el Cuadro 11 se presentan los rendimientos encontrados para la extracción del almidón, de acuerdo a las diferentes combinaciones de tiempos de extracción y tamaño de partícula.

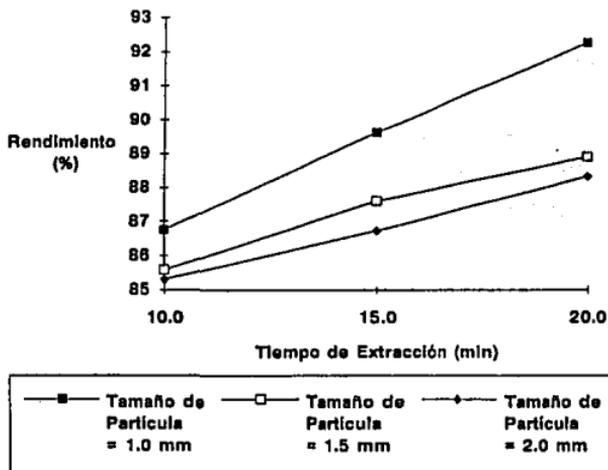
Cuadro 11. Efecto del tamaño de partícula y tiempo de extracción en el rendimiento de almidón (%).

TAMAÑO DE PARTICULA (mm)	TIEMPO DE EXTRACCION (min)		
	10	15	20
1.0	86.76	89.63	92.24
1.5	85.59	87.60	88.90
2.0	85.31	86.73	88.31

Como puede observarse en el cuadro 11, los rendimientos obtenidos son bastante altos (mayores del 85 %), incluso para la combinación de tiempo y tamaño de partícula que ocasionó el menor rendimiento de extracción.

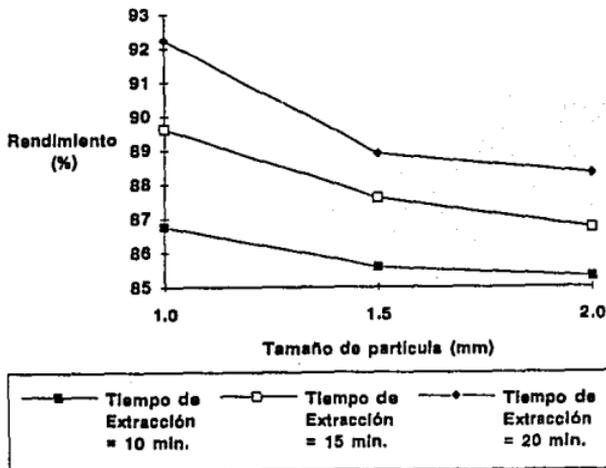
Para facilitar el análisis de resultados de esta etapa, se hicieron las gráficas del rendimiento obtenido variando tiempos de extracción; así como variando tamaños de partícula.

Gráfica 1. Influencia del tiempo de extracción en el rendimiento de almidón.



Como se puede observar en la gráfica 1, se manifiesta una tendencia al aumento directo del rendimiento con respecto al tiempo de extracción, lo cual es lógico, ya que al incrementar el tiempo de interacción entre las partículas y el agua se favorece la extracción del almidón.

Gráfica 2. Influencia del tamaño de partícula sobre el rendimiento de almidón.



En relación a la influencia del tamaño de partícula podemos apreciar en la gráfica 2, que existe un comportamiento inverso del rendimiento obtenido respecto al tamaño de partícula, mismo que puede explicarse porque al existir una mayor ruptura de los fragmentos de papa se incrementa la superficie de contacto, facilitándose la extracción del almidón.

Con el objeto de evaluar la diferencia entre tiempos de extracción y tamaño de partícula los resultados anteriores

fueron sometidos a un análisis estadístico factorial, a un nivel de significancia del 95 % con los resultados mostrados en el cuadro 12.

Cuadro 12. Comparación de R.V. con F de tablas para tiempos de extracción y tamaño de partícula.

R.V.	f de tablas
para tamaños: 124	4.26
para tiempos: 226	4.26
para tamaños y tiempos: 9.08	3.63

En todos los casos las R.V. son mayores que los valores de f de tablas correspondientes, demostrándose que existe diferencia significativa entre los rendimientos logrados para los diferentes tiempos de extracción y tamaños de partícula estudiados, así como para las combinaciones de estos. En la prueba de Duncan se encontró que no hay diferencia significativa entre los tamaños 1.5 y 2.0 mm (rango =  $0.576 < RP=1.54$ ), pero si existe con respecto a 1mm y entre los diferentes tiempos. La mejor condición de extracción de acuerdo a estos datos es el mayor tiempo de extracción con el menor tamaño de partícula (20min., 1.0mm), con la cual se logra el más alto rendimiento promedio: 92.24%.

Para analizar la posible influencia de los parámetros de experimentación manejados durante la etapa de extracción, sobre las características del almidón obtenido, se procedió a la siguiente etapa experimental, consistente en la caracterización del almidón nativo obtenido.

## Etapa 2.

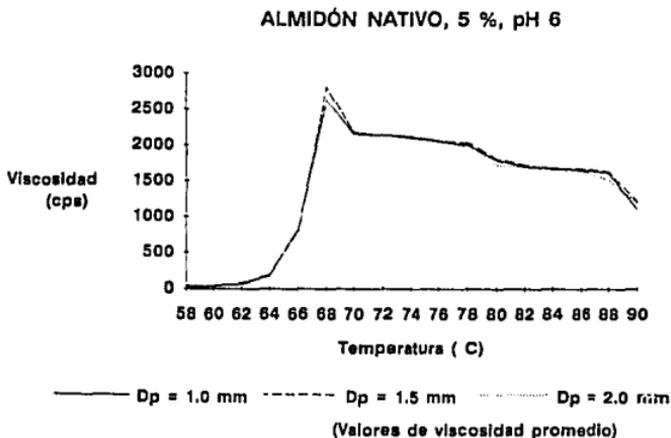
**Caracterización: Efecto de concentración de almidón y pH en el desarrollo de viscosidad durante el calentamiento gradual.**

De acuerdo a lo establecido en el diseño experimental, se prepararon soluciones de almidón al 5 %, pH = 6, para llevar a cabo la caracterización del almidón. Estas condiciones fueron seleccionadas por ser las más generalizadas para este tipo de estudios (31,42), dado que permite la comparación

entre diversos trabajos, al estandarizar a estas condiciones la evaluación de almidones.

Para el análisis global de las posibles diferencias en el comportamiento del almidón frente al calentamiento al emplear tamaños de partícula de papa muy pequeños que pudieran dañar al almidón durante la molienda, se construyó la siguiente gráfica, en la cual se puede ver el comportamiento presentado por los almidones obtenidos con los tres tamaños de partícula manejados.

Gráfica 3. Desarrollo de viscosidad durante el calentamiento gradual con diferentes tamaños de partícula.



Viscosímetro Brookfiel RVT  
huso No. 2, 50 rpm

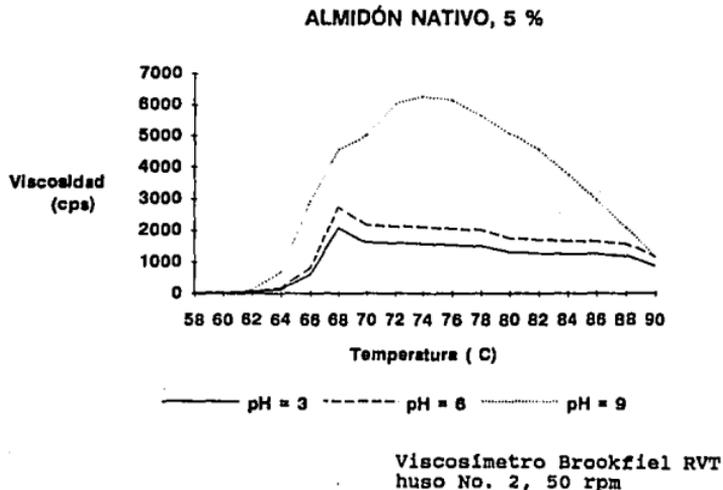
El almidón extraído con cada uno de los tamaños de partícula de papa manejados, muestra el comportamiento clásico frente al calentamiento gradual, en el cual se puede apreciar un aumento de viscosidad al acercarse a la temperatura de

gelatinización (64-68 °C), desarrollando la viscosidad máxima a 68 °C, (2,600 a 2,800 cps). Al continuar el calentamiento hay un ligero descenso de viscosidad a la temperatura de 70 °C, observándose posteriormente un intervalo prácticamente constante de viscosidad hasta la temperatura de 78 °C, a partir de la cual empieza a disminuir al proseguir el calentamiento.

Como se puede observar en la gráfica 3 el comportamiento antes descrito es el mismo para los tres tamaños de partícula de papa utilizados en la extracción, coincidiendo además con la curva generalmente reportada para el almidón de papa nativo (15,41,42), por lo que se mezcló el almidón de diferentes tamaños evaluados, para los estudios posteriores.

En relación al comportamiento y viscosidad desarrollada del almidón nativo frente al calentamiento gradual; con los datos obtenidos en la caracterización del almidón, se construyeron las gráficas correspondientes a las diferentes combinaciones de concentración y pH establecidas en el diseño experimental.

Gráfica 4. Desarrollo de viscosidad durante el calentamiento gradual a diferentes niveles de pH.



En esta gráfica se puede observar un comportamiento similar para los pH 3 y 6, tal como se describió en el análisis de la gráfica 3; respecto al pH 9, este comportamiento se ve alterado, ya que se observa un incremento constante de viscosidad desde los 62 oC, hasta los 74 oC, en donde alcanza la viscosidad máxima, empezando a disminuir constantemente a los 76 oC.

Este comportamiento a pH básico puede explicarse ya que se ha reportado (20) la existencia de una modificación parcial del almidón al interaccionar con los grupos hidroxilo de la base, incrementándose los puentes de hidrógeno y la distancia entre ellos (20) facilitando la captación del agua.

Para tener una visión más completa de estos resultados se analizaron los valores de la viscosidad máxima promedio desarrollada, tomando los datos obtenidos con los diferentes tamaños de partícula manejados, tanto en forma estadística (ANOVA), como con la tendencia presentada por los datos, con respecto a las combinaciones de concentración y pH planteadas en el diseño experimental.

En el análisis estadístico realizado a un nivel de significancia del 95 % se encontró que la R.V. = 1.8 < f de tablas = 6.94, por lo que no hay diferencia entre tamaños para las diferentes concentraciones.

Los valores con los cuales se hizo el análisis se presentan en el cuadro 13.

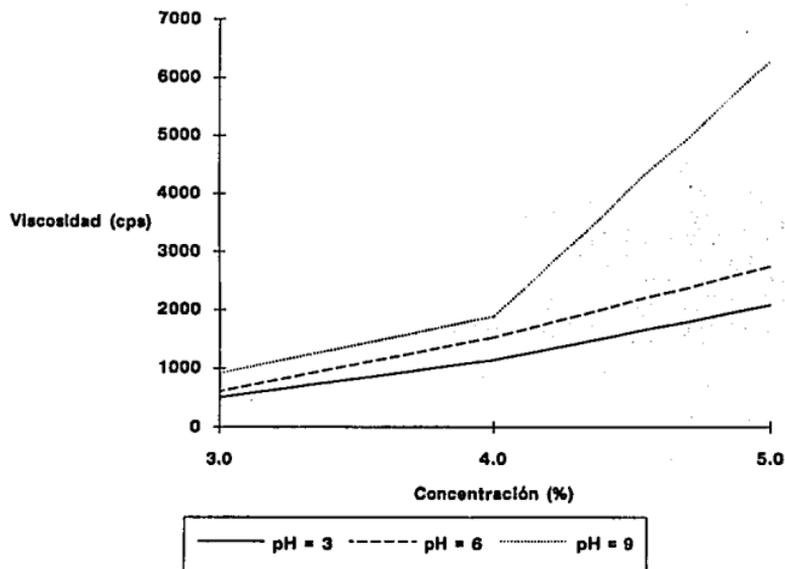
Cuadro 13. Resultados de viscosidad máxima promedio.

pH [C]	3%	4%	5%
3	508	1140	2080
6	606	1530	2743
9	916	1890	6276

Para analizar la tendencia de viscosidades máximas con la variación de concentraciones y niveles de pH, se construyó la siguiente gráfica, en base a los datos presentados en el Cuadro 13.

Gráfica 5. Desarrollo de viscosidad al incrementar la concentración a diferentes niveles de pH.

### ALMIDÓN NATIVO



Los valores más altos de viscosidad se manifiestan a pH 9, para las tres concentraciones, acentuándose para 5%, posteriormente para el pH 6 y los niveles más bajos para el pH 3. Este comportamiento resulta explicable ya que a pH ácidos puede llevarse a cabo una hidrólisis ligera del almidón (41) y por lo tanto una disminución en la captación de agua resultando en una menor viscosidad desarrollada. En tanto que a pH básicos, sucede lo explicado en el análisis de la gráfica 4.

Por otro lado, se puede observar que la viscosidad máxima muestra una tendencia exponencial frente al aumento de concentración, coincidiendo con lo reportado en la bibliografía (42).

Lo anterior está confirmado con el análisis estadístico factorial realizado a un nivel de significancia del 95 %, con los resultados reportados en el cuadro 14.

Cuadro 14. Comparación de R.V. con F de tablas para viscosidades máximas variando concentraciones y pH. Almidón Nativo.

R.V.	f de tablas
para pH: 1,661.31	3.55
para conc.: 4,569.3	3.55
para pH/conc: 824	2.93

Las R.V. son mayores que las F de tablas correspondientes, lo que demuestra que existe diferencia significativa de la viscosidad máxima desarrollada, para los diferentes niveles estudiados de concentración, pH y combinaciones de estos.

En cuanto al análisis fisicoquímico del almidón nativo obtenido se tienen los siguientes resultados:

Cuadro 15. Composición del almidón

PARAMETRO	RESULTADOS	A. COMERCIAL
% de Humedad	12.8	12.15
% de Cenizas	0.5	0.3
Granulometría % A/malla No. 200	80%	80%
Proteína	Trazas	Trazas

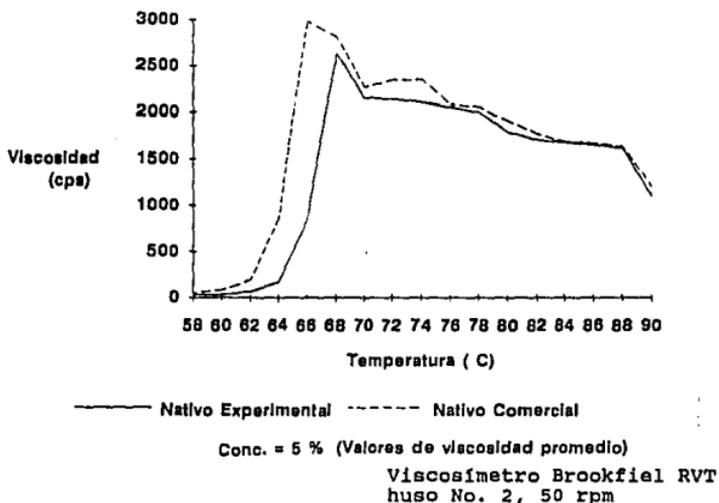
(valores promedio, análisis por triplicado)

Como puede verse, los resultados son acordes con la

composición reportada para almidón de papa nativo.

Respecto a la caracterización funcional del almidón, se construyó la siguiente curva comparativa para el almidón obtenido y un almidón nativo comercial (AVEBE) a una concentración del 5 %.

Gráfica 6. Comparación de la viscosidad desarrollada durante el calentamiento gradual entre almidón nativo experimental y nativo comercial.



Como se puede apreciar las curvas son muy similares para los dos almidones, lo cual está confirmado a través del análisis estadístico a un 95 % de confianza, en el que no se encontró diferencia significativa entre los almidones ( $R.V. = 8.39 < f = 18.51$ ).

En el análisis de fuerza de gel se utilizó un método empírico descrito en el Capítulo 2 página 83.

Por ser un método empírico se considera adecuado únicamente para realizar comparaciones bajo las mismas condiciones de determinación, por lo que se aplicó para el estudio de la fuerza de gel del almidón nativo obtenido y el almidón nativo comercial a los tres niveles de pH manejados, con una concentración del 5 %.

Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 16. Fuerza de gel  
(Dinas/cm<sup>2</sup>)

pH	A. OBTENIDO	A. COMERCIAL
3	2397	2410
6	11190	11300
9	588	605

Como puede verse en el cuadro anterior, los valores de fuerza de gel para el almidón obtenido experimentalmente y para el almidón comercial son muy similares, lo cual está corroborado a través del análisis estadístico de ANOVA con un nivel de significancia del 95 %, en el cual se tuvo una R.V. = 2.16 menor a la f de tablas = 18.51, lo que demuestra que no existe diferencia significativa entre estos valores.

Habiéndose comprobado la calidad del almidón nativo, obtenido en la etapa anterior, a través de la evaluación comparativa con el almidón nativo comercial se procedió a la utilización de éste como materia prima del proceso de modificación a estudiar en la etapa 3 del diseño experimental planteado.

### Etapa 3.

#### Modificación del almidón nativo.

##### ACETILACION DE ALMIDON.

El tiempo de reacción para obtener un porcentaje de acetilación de 2.5, que se planteó alcanzar en el diseño experimental, se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 17. Tiempo de reacción para un porcentaje de acetilos de 2.5 %.

CONCENTRACION DE AC. ACETICO	C/CATALIZADOR	S/CATALIZADOR
25 %	3 horas	4 horas
75 %	2 horas	3 horas

Como era de esperarse y de acuerdo a los resultados del cuadro anterior, el uso de catalizador acelera el tiempo de reacción para las dos concentraciones mostrando una diferencia de 1 hora. El incrementar la concentración de ácido acético utilizado, reduce el tiempo de reacción ya sea con el uso de catalizador o sin el.

Dado que la información reportada en el cuadro 17 no aporta una información completa acerca del proceso de acetilación estudiado se procedió al análisis del desarrollo de la reacción de acetilación para las diferentes variables manejadas (concentración de ác. acético, uso de cloruro de zinc como catalizador). Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 17 y en la gráfica 7.

Cuadro 18. Desarrollo de la reacción de acetilación (% de acetilos obtenidos)

Concentración 25 %

TIEMPO (Hrs.)	1	2	3	4	5
S/CATALIZADOR	0.027	0.837	1.656	2.493	3.351
C/CATALIZADOR	0.790	1.875	2.425	3.128	3.830

(valores promedio)

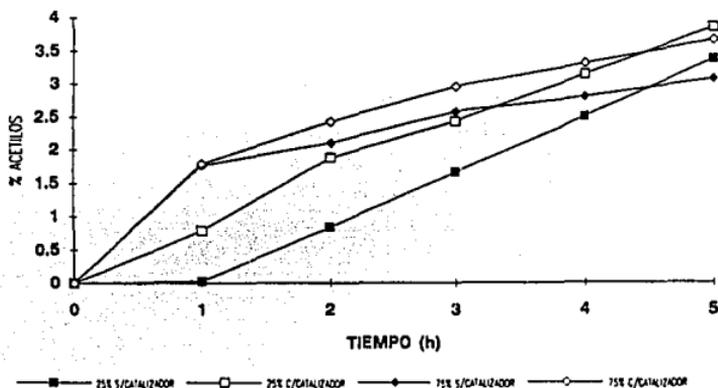
Concentración 75 %

TIEMPO (Hrs.)	1	2	3	4	5
S/CATALIZADOR	1.769	2.103	2.576	2.790	3.050
C/CATALIZADOR	1.791	2.425	2.956	3.295	3.635

(valores promedio)

Condiciones de determinación de % de acetilos:  
5 g de almidón en base saca

Gráfica 7. Porcentaje de acetilos alcanzado respecto al tiempo de reacción.



Como se puede apreciar existe una tendencia al aumento del porcentaje de acetilos obtenido, con respecto al tiempo, tanto para el uso de catalizador como con la ausencia de este sin embargo, los niveles de acetilación para un mismo tiempo de reacción son mayores cuando se utiliza el cloruro de zinc como catalizador.

Se realizó un análisis estadístico factorial con un nivel de significancia del 95% con los datos anteriores a fin de establecer si existe diferencia en el porcentaje de acetilación obtenido con las variables estudiadas (concentración de ácido acético, catalizador). En este análisis se obtuvieron los resultados presentados en el cuadro 19.

Cuadro 19. Comparación de R.V. con F de tablas para la reacción de acetilación.

TIEMPO DE REACCION	R.V.	f de tablas
1	para catalizador: 1.73 para concentración: 21 para cat./conc.: 1.54	6.94 6.94 6.39
2	para catalizador: 1.4 para concentración: 2.5 para cat./conc.: 0.38	6.94 6.94 6.39
3	para catalizador: 1.15 para concentración: 1.8 para cat./conc.: 0.13	6.94 6.94 6.39
4	para catalizador: 1.08 para concentración: 0.8 para cat./conc.: 0.014	6.94 6.94 6.39
5	para catalizador: 8.17 para concentración: 1.8 para cat./conc.: 0.08	6.94 6.94 6.39

En base a lo anterior puede afirmarse que en la primer hora de la reacción hay diferencia significativa en la influencia de las concentraciones, obteniéndose valores cercanos al 2 % de acetilación con la concentración de ácido de 75%, en tanto que con un 25 % la acetilación apenas es detectable (<0.8 %).

Al transcurrir mayor tiempo de reacción las diferencias entre las concentraciones se atenúan lo cual se confirma al no presentarse diferencia estadística significativa a partir de la segunda hora de reacción.

En la etapa final evaluada se presenta diferencia estadística en el uso o no de catalizador, lo cual posiblemente resultaría de interés para acetilación a niveles mayores de 2.5 %; sin embargo, en el desarrollo de la reacción en las etapas de interés de este estudio no se presentan dichas diferencias estadísticas, aunque puede observarse que para 75 % de ácido acético los valores de acetilación son muy parecidos con o sin catalizador, en tanto que para el 25 % de concentración hay una mayor diferencia entre ellos.

Respecto a la interacción de las variables sobre la reacción de acetilación, no se presenta diferencia estadística significativa en ninguna fase de la reacción.

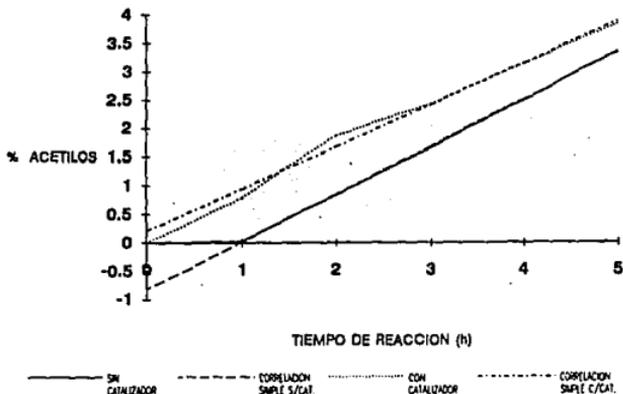
Este comportamiento de la reacción ante las variables estudiadas resulta importante ya que la diferencia de concentración de agente modificador (ác. acético), así como el empleo de catalizador, no cambian significativamente los tiempos de reacción requeridos para lograr un porcentaje de acetilos del 2.5 % representando un ahorro de reactivos importante.

Sin embargo, aunque estadísticamente no se refleje diferencia en los tiempos de reacción, al utilizar la concentración de ácido acético mayor (75 %) y catalizador, se logra acortar el tiempo 2 hrs. respecto a la concentración menor (25 %) sin catalizador.

Este ahorro de tiempos resulta importante en el desarrollo global del proceso de acetilación a nivel industrial, por lo que es recomendable hacer un análisis completo de costos evaluando el ahorro en reactivos y en tiempo de proceso, con el fin de determinar las mejores condiciones de reacción desde el punto de vista económico.

Dado que en la gráfica 7 se observa un comportamiento prácticamente lineal del porcentaje de acetilos frente al tiempo para la concentración de ácido acético, se realizaron las siguientes gráficas para comprobar si los datos se pueden ajustar a una línea recta.

Gráfica 8. Reacción de acetilación con 25 % de ác. acético.



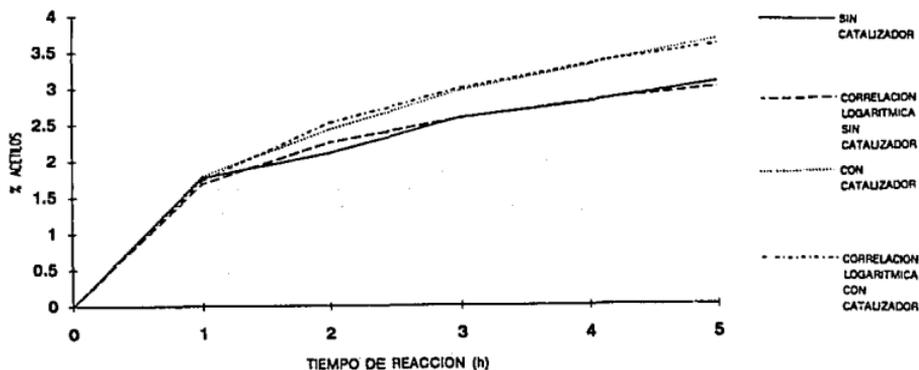
Con catalizador	$R^2 = 0.9853$	$r = 0.9939$
Sin catalizador	$R^2 = 0.9915$	$r = 0.9999$

De acuerdo a los coeficientes de correlación anteriores los datos se ajustan en ambos casos a una linealización simple, estando directamente relacionado el nivel de acetilación obtenido con el tiempo de reacción.

Se realizó un análisis similar para la concentración de 75% de ácido acético, en la que los datos se ajustaron a una correlación logarítmica. La diferencia entre ambas condiciones se aprecia durante la primera hora de reacción, donde es mayor el incremento en el porcentaje de acetilos, por lo cual se requiere un estudio más profundo de éste intervalo, así como la variación de un mayor número de concentraciones de ácido acético, para una definición completa de la cinética de la reacción.

La gráfica correspondiente a la reacción de acetilación con 75% de ácido acético se muestra a continuación.

Gráfica 9. Reacción de acetilación con 75 % de ác. acético.



Sin catalizador R2= 0.9706      r= 0.9852  
 Con catalizador R2= 0.9912      r= 0.9956

Cuadro 20. Ecuaciones de la recta para las reacciones de acetilación.

[C]	CON CATALIZADOR	SIN CATALIZADOR
25%	% ac.=0.73(tiempo)+0.2097	% ac.=0.83(tiempo)-0.8184
75%	% ac.=1.14ln(tiempo)+1.72	% ac.=0.80ln(tiempo)+1.69

En base a las ecuaciones puede verse que se logra un mayor nivel de acetilación con 75 % de ácido acético con catalizador que con las otras condiciones, para un mismo tiempo de reacción.

## **OBTENCION DE ALMIDONES PREGELATINIZADOS.**

En la etapa experimental de gelatinización en frío se tuvo una limitante importante en la fase de secado, ya que no se logró la utilización de secadores de tambor rotatorio al vacío por falta de equipo.

El secado en charolas empleado, no resultó adecuado ya que no se logró alcanzar un secado completo y uniforme por la plasticidad del gel y las limitaciones para obtener menores tamaños de partícula para el secado.

Aunque la gelatinización en frío pudo llevarse a cabo observándose la formación de un gel más claro y completo al aumentar la concentración de reactivo empleado, siendo más notorio este comportamiento para el hidróxido de sodio que para el de potasio; no se pudo comprobar el nivel de gelatinización alcanzado ni las características del almidón obtenido, por las limitaciones de secado antes mencionadas.

Por lo anterior, se recomienda concluir este estudio en trabajos posteriores, con la utilización de un método de secado más adecuado para el tipo de gel obtenido.

Para la gelatinización con temperaturas la etapa de secado pudo realizarse con el método de estufa antes mencionado, ya que el gel no presenta tanta plasticidad.

Con el fin de analizar la efectividad del tratamiento de modificación se realizó la caracterización funcional de los almidones obtenidos.

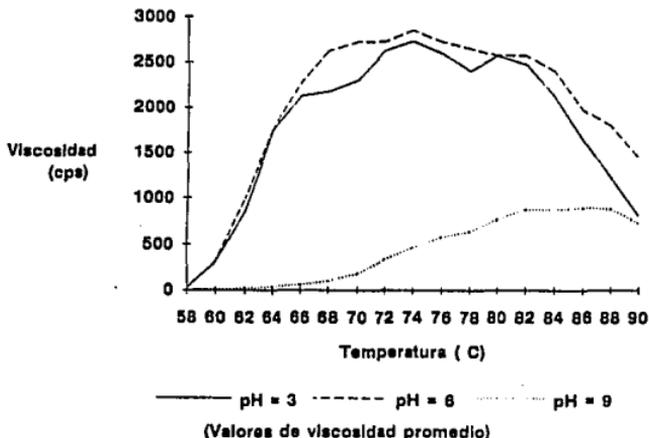
### **Etapas 4.**

#### **Caracterización de almidones modificados.**

##### **ACETATOS DE ALMIDON.**

Una vez establecidas las condiciones más rápidas para la reacción de acetilación (75 % ác. acético, con catalizador), se obtuvo acetato de almidón suficiente para realizar el estudio de su comportamiento frente al calentamiento, según lo planteado en el diseño experimental. Para ejemplificar el comportamiento se seleccionó la gráfica obtenida con una concentración de 5% de almidón por ser la concentración generalmente reportada para la caracterización de almidones.

Gráfica 10. Desarrollo de viscosidad durante el calentamiento gradual, acetatos de almidón, 5 %



Viscosímetro Brookfiel  
RVT  
huso No. 2, 50 rpm

En la gráfica anterior se puede observar un desarrollo inicial de viscosidad a la temperatura de 58 °C, con un aumento rápido de esta hasta una temperatura de 68 °C, manteniéndose prácticamente constante durante el calentamiento hasta una temperatura aproximada de 84 °C, (período donde se alcanza una viscosidad máxima de 2,775 cps) empezando a disminuir ligeramente, es decir muestra un comportamiento estable frente al calentamiento, para pH neutro y pH ácido, lo cual concuerda con lo reportado en bibliografía (20) para acetatos de almidón.

En cuanto al comportamiento a pH básico se observa un desarrollo de viscosidad inferior, empezando a desarrollar viscosidad a una temperatura 70 °C, con aumento gradual y lento hasta los 82 °C, empezando a disminuir nuevamente a los 88 °C. Esto es explicable si consideramos que a pH básico

tiende a anularse el efecto de la acetilación que es el comportamiento estable frente a calentamiento, al darse una interacción entre los grupos acetilos del almidón y los grupos hidroxilos presentes en el sistema (20,41), presentándose una degradación del almidón por lo cual no desarrolla niveles significativos de viscosidad.

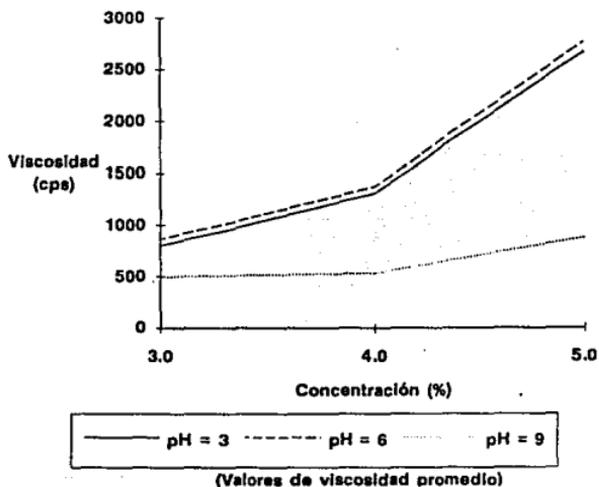
Con los valores de viscosidad máxima obtenidos de las gráficas anteriores se realizaron los siguientes análisis de las viscosidades máximas desarrolladas.

Cuadro 21. Viscosidad máxima de acetatos de almidón a diferentes pH y concentraciones.

pH [C]	3 %	4 %	5 %
3	800	1310	2678
6	865	1375	2775
9	495	530	880

En base al cuadro 21 se realizó la siguiente gráfica.

Gráfica 11. Efecto de la concentración y pH en la viscosidad máxima de acetatos de almidón.



Como puede verse el comportamiento de la viscosidad máxima frente a las concentraciones muestra una curva de tipo exponencial, para cada nivel de pH.

Se realizó un análisis estadístico factorial de viscosidades máximas, encontrándose que existe influencia significativa de

los niveles de pH, los niveles de concentraciones y la combinación de estos factores; ya que las R.V. son mayores que las f de tablas en todos los casos, como puede verse en el cuadro 22.

Cuadro 22. Comparación de R.V. con F de tablas para viscosidades máximas de acetatos de almidón, a diferentes pH y concentraciones.

R.V.	f de tablas
para pH: 786.67	4.26
para conc.: 1,243.2	4.26
para pH/conc: 157.3	3.63

Con la prueba de Duncan se encontró que no hay diferencia entre el pH 3 y pH 6 a ninguna de las concentraciones estudiadas ( Rango < RP ), en tanto que el pH 9 presenta diferencia significativa con estos, en las tres concentraciones ( Rango > RP ), como puede constatarse en el cuadro 23.

Cuadro 23. Rangos entre medias para la viscosidad máxima de acetatos de almidón a diferentes niveles de pH y concentraciones.

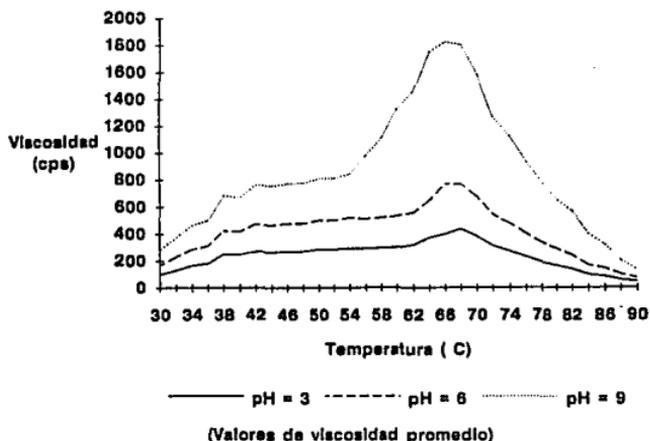
CONCENTRACION	RANGO ENTRE MEDIAS
3 %	para pH 3 - pH 6: 65 para pH 3 - pH 9: 305 para pH 6 - pH 9: 370
4 %	para pH 3 - pH 6: 47 para pH 3 - pH 9: 780 para pH 6 - pH 9: 827
5 %	para pH 3 - pH 6: 98.5 para pH 3 - pH 9: 1797 para pH 6 - pH 9: 1895

RP = 114.12

## ALMIDON PREGELATINIZADO

Se caracterizó el almidón pregelatinizado con calor, construyéndose la gráfica de viscosidad desarrollada frente al calentamiento progresivo, a los tres niveles de pH planteados, con la concentración utilizada generalmente para la evaluación de almidones (5%).

Gráfica 12. Desarrollo de viscosidad durante el calentamiento gradual, almidón pregelatinizado, 5 %



Viscosímetro Brookfield RVT  
huso No. 2, 50 rpm

Como puede verse en la gráfica anterior el almidón presenta un desarrollo inicial de viscosidad a partir de los 30 °C, incrementándose gradualmente hasta los 36 °C, en donde se inicia un periodo prácticamente constante de viscosidad hasta los 62 °C para los pH 3 y 6, y hasta los 56 °C para el pH 9; presentando una viscosidad máxima de 1,820 cps a 66 °C y una disminución gradual a partir de los 70 °C.

De acuerdo a esta gráfica se puede decir que el almidón no está completamente gelatinizado, ya que presenta un incremento de viscosidad a temperaturas cercanas a la de gelatinización del almidón de papa, que debería ser nulo en un almidón pregelatinizado y desarrolla poca viscosidad a temperaturas bajas.

Por otra parte, cabe mencionar que los niveles bajos de viscosidad alcanzados indican cierta degradación del almidón, puesto que son alrededor de un 30% de la viscosidad desarrollada por el almidón nativo, cuando debiera ser aproximadamente un 80% de acuerdo a lo reportado en bibliografía para almidones pregelatinizados adecuadamente (41,42).

Lo anterior puede deberse a la etapa de secado en el proceso de obtención del almidón pregelatinizado, que como ya se mencionó no fué realizada con el equipo idóneo.

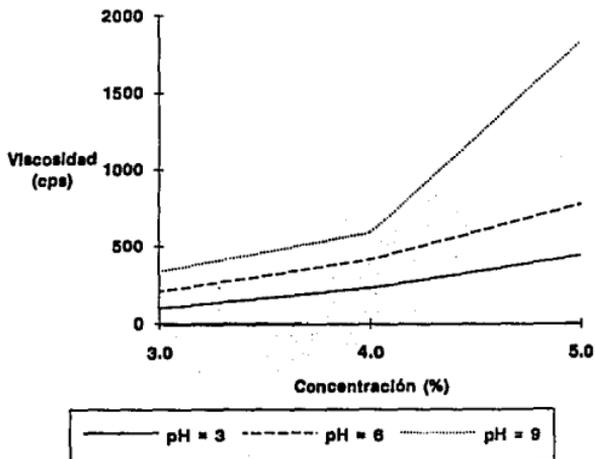
Para completar la caracterización se realizó el análisis de viscosidades máximas alcanzadas, con cada combinación de concentración y pH planteadas en el diseño experimental.

Cuadro 24. Efecto del pH y concentración de almidón en la viscosidad máxima de almidón pregelatinizado.

pH [C]	3 %	4 %	5 %
3	100	230	435
6	210	413	768
9	340	586	1820

Para facilitar el análisis de los datos anteriores se construyó la siguiente gráfica.

Gráfica 13. Efecto de la concentración y pH en la viscosidad máxima de almidón pregelatinizado.



En la gráfica anterior se puede observar un comportamiento similar al presentado por el almidón nativo frente a los diferentes niveles de pH y concentración, lo cual resulta lógico ya que no se realizó ninguna modificación química para la obtención del almidón pregelatinizado, que pudiera afectar el comportamiento de este.

El análisis estadístico factorial, realizado para un nivel de significancia de 95% se reporta en el cuadro 25.

Cuadro 25. Comparación de R.V. con f de tablas para la viscosidad máxima de almidón pregelatinizado.

R.V.	f de tablas
para pH: 6189.2	4.26
para conc.: 4145.7	4.26
para pH/conc: 1376	3.63

En todos los casos las R.V. son mayores que las F de tablas, por lo que puede decirse que hay diferencia significativa entre los diferentes niveles de concentración y pH empleados, así como la combinación de estos factores, a todos los niveles, sobre la viscosidad máxima desarrollada, lo cual se corroboró con la prueba de Duncan.

Lo anterior indica que el posible daño ocasionado al almidón, afecta los niveles de viscosidad desarrollados; sin embargo, no influye en el comportamiento del almidón frente a diferentes valores de pH y concentraciones.

En cuanto a la caracterización fisicoquímica del almidón pregelatinizado, los resultados son los siguientes:

Cuadro 26. Composición del almidón pregelatinizado

PARAMETRO	RESULTADOS
% de Humedad	13.2
Indice de absorción gH <sub>2</sub> O/gAlmidón	6.72
% Cenizas	0.4
% Proteínas	TRAZAS
Granulometría % A/malla No. 200	70

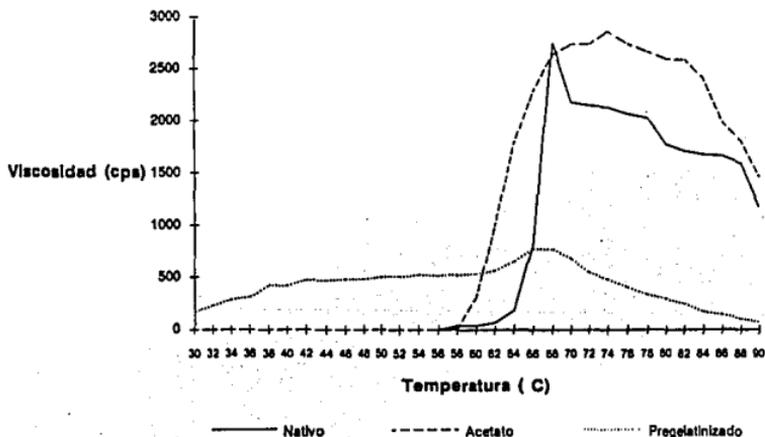
(valores promedio, análisis por triplicado)

Como puede verse los resultados son similares a los obtenidos con el almidón nativo; en cuanto al índice de absorción es un valor bajo para almidón de papa pregelatinizado (14.6 para almidón de papa pregelatinizado AVEBE), lo cual coincide con el comportamiento del almidón pregelatinizado en cuanto al desarrollo de viscosidad, apoyando la hipótesis del posible daño del almidón durante el secado.

#### ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS ALMIDONES.

Para visualizar los diferentes comportamientos de los tres almidones manejados se construyó la siguiente gráfica comparativa del desarrollo de viscosidad frente al calentamiento progresivo de una solución de almidón al 5% y un pH=6.

Gráfica 14. Desarrollo de viscosidad durante el calentamiento gradual, comparación entre almidones, 5 %, pH 6



Viscosímetro Brookfield RVT  
huso No. 2, 50 rpm

Como puede apreciarse en la gráfica anterior el comportamiento de los tres almidones es completamente diferente y característico para cada uno de ellos, demostrándose la importancia de la modificación del almidón nativo para la obtención de almidones con las características adecuadas para diferentes tipos de aplicaciones.

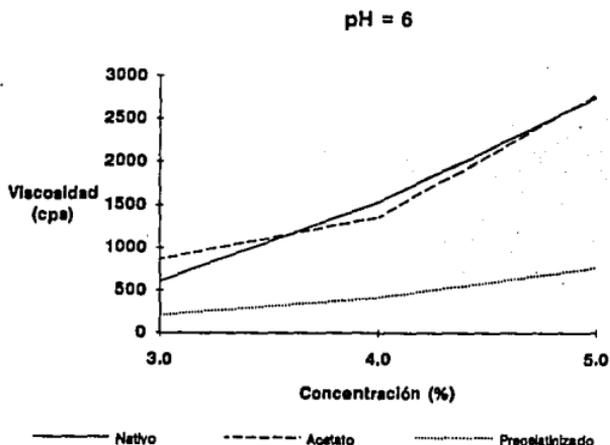
El acetato de almidón muestra un desarrollo inicial de viscosidad a una temperatura 4 °C menor que el almidón nativo alcanzando la viscosidad máxima que presenta el nativo (2,800 cps.) a la misma temperatura que este, 66 °C, manteniéndose prácticamente constante hasta los 84 °C con un ligero incremento a los 74 °C.

El mantenimiento de altas viscosidades en un intervalo de temperatura relativamente amplio es una de las ventajas principales del acetato de almidón sobre el almidón nativo, el cual presenta una disminución drástica de viscosidad inmediatamente después de alcanzar su valor máximo.

En cuanto al almidón pregelatinizado, su ventaja principal es el desarrollo de viscosidad desde temperaturas bajas y su mantenimiento durante el proceso de calentamiento. Como puede verse en la gráfica el almidón pregelatinizado obtenido en el laboratorio presenta un desarrollo de viscosidad desde la temperatura inicial del estudio; sin embargo a la temperatura de gelatinización se registra un incremento debido a que, como se comentó anteriormente, no se alcanzó una pregelatinización completa.

Para analizar comparativamente los tres almidones en cuanto a la viscosidad máxima desarrollada se construyó la siguiente gráfica en base a los resultados reportados anteriormente (Cuadros 13, 21 y 24).

Gráfica 15. Comparación de viscosidad máxima respecto a concentraciones para los diferentes tipos de almidón.



Como puede verse en la gráfica anterior hay una gran similitud en las viscosidades máximas desarrolladas por el almidón nativo y el acetato de almidón, en tanto que el almidón pregelatinizado presenta viscosidades muy bajas con respecto a los otros dos. ( 70 % menos respecto al nativo).

Lo anterior se apoya por el análisis estadístico realizado con el método de ANOVA a un nivel de significancia del 95%

donde se obtuvo una  $R.V. = 7.13 > f = 6.94$ . Al realizar la prueba de Duncan se comprueba una diferencia significativa del almidón pregelatinizado con respecto al nativo y al acetato, no así entre estos últimos, como puede verse en el cuadro 27.

Cuadro 27. Comparación de rangos entre medias con RP para los tres tipos de almidón.

RANGO ENTRE MEDIAS	RP
Pregelatinizado - Nativo: 1,163	1,025
Pregelatinizado - Acetato: 1,202	1,005
Nativo - Acetato: 39	1,005

Con lo anterior se confirma el buen resultado obtenido en el proceso de acetilación ya que se modifica el comportamiento del almidón haciéndose más estable, sin afectar el nivel de viscosidad máxima que puede desarrollar.

No se puede realizar una comparación de la fuerza de gel de los diferentes almidones, debido a los resultados obtenidos en la etapa de pregelatinización y a que los acetatos de almidón no forman geles, lo cual es una característica de este tipo de modificación.

## CONCLUSIONES

1. Es posible obtener almidón de calidad fisicoquímica y funcional similar al almidón de papa comercial, a partir de papa alfa de baja calidad, a nivel laboratorio, con las condiciones de proceso experimentadas.

2. Al disminuir el tamaño de partícula aumenta la superficie de contacto facilitando que el almidón se transfiera de la papa al agua.

3. Las mejores condiciones de proceso para la obtención de almidón nativo establecidas a nivel laboratorio, para las etapas estudiadas son:

- Tamaño de partícula de papa = 1.0 mm
- Tiempo de agitación/extracción = 20 min.

4. No es recomendable una disminución mayor del tamaño de partícula de papa empleado en la extracción, por las dificultades de manejo que esto implicaría durante la etapa de molienda y por el riesgo de daño, dado el tamaño de los gránulos de almidón de papa que pueden llegar hasta los 120 micrómetros.

5. El almidón nativo obtenido puede ser utilizado como materia prima de buena calidad para la obtención de acetatos de almidón.

6. La concentración de ácido acético y el uso de catalizador no es determinante para el desarrollo de la reacción de acetilación pero sí lo son para el análisis global de costos de proceso de acetilación.

7. Tal como se esperaba el uso de catalizador acelera la reacción para las dos concentraciones estudiadas, aunque no se presenta diferencia estadística significativa.

8. Un incremento en la concentración del ácido acético utilizado, reduce el tiempo de reacción, con y sin catalizador.

9. La reacción de acetilación con los parámetros experimentales estudiados presenta un comportamiento lineal, característico de las reacciones de primer orden.

10. Las mejores condiciones de acetilación para el almidón de papa obtenido a nivel laboratorio son:

- Concentración de ácido acético = 75% respecto al almidón.
- Uso de cloruro de zinc al 1 % como catalizador.
- Temperatura = 30 °C.

11. Los acetatos de almidón obtenidos presentan características fisicoquímicas y funcionales similares a lo reportado en la bibliografía:

- Estabilidad en el desarrollo de viscosidad frente al calentamiento.
- Estabilidad a pH ácido.

12. La viscosidad máxima desarrollada por los acetatos de almidón obtenidos experimentalmente, es similar a la del almidón nativo, por lo que se puede asumir que el posible daño ocasionado durante la acetilación es mínimo.

13. La principal limitante para la gelatinización del almidón de papa con medios químicos y/o con aplicación de calor, es el secado, por las características plásticas del gel obtenido.

14. Para el estudio completo de la pregelatinización del almidón, es necesario contar con un secador adecuado para este tipo de materiales.

15. Los almidones pregelatinizados obtenidos a nivel laboratorio no presentaron un desarrollo adecuado de viscosidad debido probablemente a un daño ocasionado durante el secado.

16. De acuerdo a las características funcionales desarrolladas por los acetatos de almidón obtenidos, estos pueden ser empleados en sistemas a pH ácido o neutro y en procesos que impliquen periodos de calentamiento hasta temperaturas de 88 °C; tales como la elaboración de salsas, aderezos, sopas de preparación rápida, productos de repostería y panadería.

## RECOMENDACIONES

1. Resultaría conveniente un análisis de microscopía del almidón obtenido a nivel laboratorio, para la evaluación de la calidad de éste en base a las características morfológicas de los gránulos.
2. Es conveniente realizar un estudio completo de la gelatinización de almidones con procesos químicos, como una opción al método tradicional con calor, para minimizar el riesgo de daño al almidón por el calentamiento.
3. Para la evaluación de la existencia y magnitud del posible daño presentado por los almidones modificados, es necesario realizar un análisis microscópico de la estructura de los gránulos.
4. Completar el estudio de la funcionalidad de los almidones obtenidos, bajo las condiciones reportadas en el presente trabajo, a través de la elaboración de viscoamilogramas para el ciclo completo calentamiento-enfriamiento.
5. Realizar el escalamiento del proceso a nivel piloto e industrial así como el estudio de factibilidad técnico-económica de una planta de extracción y modificación de almidón a partir de papa de baja calidad comercial.
6. Sería interesante un estudio mayor del campo de aplicación de los acetatos de almidón en sistemas alimenticios para establecer niveles y condiciones de utilización, específicos para diferentes productos.

**ANEXO 1.**

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-FF-22-1982**

**SECRETARIA DE PATRIMONIO Y FOMENTO INDUSTRIAL**

**PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA USO HUMANO -  
TUBERCULO - PAPA - (Solanum tuberosum) - ESPECIFICACIONES**

**DIRECCION GENERAL DE NORMAS**

**1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION.**

Esta Norma Oficial Mexicana establece las características de calidad que debe cumplir la papa (*Solanum tuberosum* L.) en sus distintas variedades destinadas al consumo humano.

**2. REFERENCIAS.**

Esta Norma Oficial se complementa con las vigentes de las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

- |          |   |
|----------|---|
| NOM-FF-6 | "Productos alimenticios no industrializados para uso humano Fruta Fresca - Terminología"  |
| NOM-FF-9 | "Productos alimenticios no industrializados para uso humano Fruta Fresca - Determinación del tamaño en base al diámetro ecuatorial" |
| NOM-Z-12 | "Muestreo para la inspección por atributos"   |

**3. DEFINICIONES.**

**3.1. Definición del Producto.**

Para los efectos de esta norma, se entiende por papa al tubérculo de la planta correspondiente a la familia de las Solanáceas, al género *Solanum* y a la especie *tuberosum*.

**3.2. Defectos menores.**

Se consideran defectos menores como las ligeras malformaciones, raspaduras y manchas que afecten hasta un 5% de la superficie.

**3.3. Defectos mayores.**

Los anotados en 3.2. cuando afectan un área hasta del 10% de la superficie, además de ligeras rajaduras.

#### 3.4. Defectos críticos.

Los considerados en 3.2. cuando afecten un área mayor del 10% de la superficie, además de evidencias de plagas por enfermedades y grietas.

3.5. Para otras definiciones relacionadas con esta norma se debe consultar la NOM-FF-6 (véase capítulo 2).

#### 4. CLASIFICACION Y DESIGNACION DEL PRODUCTO.

La papa se clasifica de acuerdo a sus especificaciones en tres grados de calidad en orden descendente:

México Extra  
México No. 1  
México No. 2

El producto clasificado se designa por su nombre, variedad, color, tamaño y grado de calidad. El producto que no ha sido clasificado de acuerdo con alguno de los grados anteriormente enunciados se designan como "No Clasificado".

El término "No Clasificado" no es un grado dentro del texto de esta norma, sino una designación que denota que ningún grado de calidad se ha dado al otro.

#### 5. ESPECIFICACIONES.

El producto objeto de esta norma en sus diferentes grados de calidad, debe cumplir con las especificaciones siguientes:

##### 5.1. Especificaciones sensoriales.

Las papas deben:

5.1.1. Estar bien desarrolladas, enteras, sanas, frescas, limpias, de consistencia firme y cáscara razonablemente lisa.

5.1.2. Tener forma característica.

5.1.3. Estar excentas de humedad exterior anormal.

5.1.4. Estar prácticamente libre de descomposición o pudrición.

5.1.5. Estar prácticamente libre de defectos de origen mecánico, entomológico, microbiológico, meteorológico y

genético-fisiológico.

5.1.6. Color.

El color de la papa varía desde el amarillo pálido hasta el rojo magenta según la variedad.

5.2. Especificaciones Físicas.

El tamaño de las papas se determina en base a su diámetro ecuatorial.

5.2.1.1. El tamaño de las papas se clasifica de acuerdo a la tabla 1.

TABLA 1

TAMAÑO	DIAMETRO ECUATORIAL (cm)
A Extra chico	menor de 4.0
B Chico	4.0 - 6.0
C Mediano	6.1 - 8.0
D Grande	8.1 - 10.0
E Extra Grande	mayor de 10.0

5.2.1.2. México Extra.

Las papas dentro de esta calidad, se deben clasificar en los tamaños correspondientes a las letras B, C ó D de la tabla No. 1.

5.2.1.3. México No. 1 y México No. 2

Las papas dentro de estas calidades, se pueden clasificar en cualquiera de los tamaños anotados en la tabla No. 1.

5.3. Especificaciones de defectos.

5.3.1. México Extra.

Estar prácticamente libres de cualquier defecto y dentro de

las tolerancias establecidas para esta calidad (Véase 5.5.2).

#### 5.3.2. México No. 1.

Puede presentar como máximo un defecto menor y dentro de las tolerancias establecidas para esta calidad (Véase 5.5.2).

#### 5.3.3. México No. 2.

Puede presentar como máximo un defecto mayor y dentro de las tolerancias establecidas para esta calidad (Véase 5.5.2).

### 5.4. Presentación

#### 5.4.1. México Extra.

Las papas deben ser envasadas siguiendo una rigurosa selección, dejando cada envase perfectamente presentado y su aspecto global debe ser uniforme, en cuanto a su tamaño, cada envase debe contener papas de un mismo color y estar dentro de las tolerancias de tamaño establecidas para esta calidad (Véase 5.5.2).

#### 5.4.2. México No. 1 y México No. 2.

Las papas dentro de estas calidades pueden presentar variaciones en cuanto a su homogeneidad de tamaño, dentro de las tolerancias de tamaño establecidas para estas calidades (Véase 5.5.2).

### 5.5. Tolerancias.

Para las especificaciones físicas y de defectos, en las distintas calidades se permiten las tolerancias siguientes.

#### 5.5.1. Tolerancias de tamaño.

TABLA 2

CALIDAD	MEXICO EXTRA	MEXICO No.1	MEXICO No.2
TOLERANCIA DE			
Tamaño	5 %	10 %	15 %

### 5.5.2. Tolerancia de defectos.

Para todos los grados de calidad mencionados se permitirán las siguientes tolerancias de defectos.

TABLA 3

TIPO DE DEFECTOS	TOLERANCIAS EN	
	PUNTO DE EMBARQUE	PUNTO DE ARRIBO
Defectos críticos	4 %	5 %
Defectos mayores	6 %	7 %
Defectos menores	10 %	12 %
Acumulativo	10 %	12 %
Pudrición	0.5%	1 %

5.6.3. En las tolerancias de tamaño y defectos, el porcentaje permitido se da para el lote. En papa el porcentaje que no corresponda a la designación declarada, se valga por conteo.

NOTA: Residuos tóxicos.- Estarán sujetos a las tolerancias establecidas por las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y la de Salubridad y Asistencia, incluyendo aquellos correspondientes a los residuos de plaguicidas de productos mejoradores de la apariencia y otros.

### 6. MUESTREO Y TOMA DE MUESTRA.

El muestreo del producto podrá establecerse de común acuerdo entre vendedor y comprador, a falta de éste, se puede llevar a cabo de acuerdo con las indicaciones dadas en la NOM-Z-12 en vigor.

### 7. METODO DE PRUEBA.

Para verificar si un lote cumple con las especificaciones de tamaño establecidas en esta norma, las determinaciones correspondientes deben de realizarse de acuerdo a las Normas enunciadas en el capítulo 2 (Véase capítulo 2).

## 8. MARCADO, ETIQUETADO, ENVASE Y EMBALAJE.

### 8.1. Marcado o etiquetado.

Cada envase debe llevar en el exterior una etiqueta o impresión permanente, con caracteres legibles e indelebles, redactados en español, que tenga como mínimo los datos siguientes.

- Papa en estado fresco .
- Identificación simbólica de la papa en estado fresco.
- Marca o identificación simbólica del productor o envasador.
- Nombre y dirección del productor, distribuidor y cuando se requiera el del importador.
- Zona regional de producción y la leyenda "Producto de México".
- Fecha de envasado y designación del producto.
- Contenido neto en gramos o kilogramos.

NOTA: Todos los textos anteriores pueden figurar en otro idioma, cuando el producto sea para exportación y el importador lo requiera.

### 8.2. Envasado y presentación.

8.2.1. El acomodo de las papas dentro de cada envase, debe hacerse de tal manera que asegure su protección durante el transporte.

8.2.2. El producto no debe sobresalir del nivel superior de la caja o recaja.

### 8.3. Características de los envases.

Las características de los envases establecidas en esta sección son de carácter general.

8.3.1. Los envases deben reunir la calidad y resistencia que garanticen el estibado y la transportación a los lugares de consumo.

8.3.2. Los envases pueden ser de madera, cartón u otro material aceptable y conveniente de las dimensiones que se adapten a las necesidades de transportación nacional e internacional.

8.3.3. Los envases deben reunir las condiciones de higiene, ventilación y resistencia a la humedad y temperatura, que

garanticen un adecuado manejo y conservación del producto.

9. BIBLIOGRAFIA.

Arthey, V.O. - Quality of Horticultural Products. Butterworth & Co. (Publishers) Ltd. London, 1975

CONAFRUT - DGEA - DGN - Informe general del estudio para determinar los cuadros de especificaciones de 32 especies hortofrutícolas, México, 1981.

NOM-z-13-1977 Guía para la redacción, estructuración y presentación de las normas oficiales mexicanas.

EL DIRECTOR GENERAL DE NORMAS  
COMERCIALES DE LA SECRETARIA  
DE COMERCIO

EL DIRECTOR GENERAL  
DE NORMAS

LIC. HECTOR VICENTE BAYARDO

DR. ROMAN SERRA CASTAÑOS

## ANEXO 2. TECNICAS DE ANALISIS UTILIZADAS.

### METODO DE DETERMINACION DE ALMIDON POR ESPECTROMETRIA DE NELSON

El método empleado para la determinación del almidón (31) involucra las siguientes etapas:

- I.- Hidrolización y neutralización de la muestra.
- II.- Clasificación de la muestra.
- III.- Filtración.
- IV.- Reacción colorida con el Reactivo de Nelson.
- V.- Lectura de la muestra en el espectrofotómetro.

Elaboración de la curva estandar.

Para la obtención de la curva estandar se prepara una solución concentrada de almidón (100 mg de almidón en 100 ml de agua destilada). Posteriormente se lleva a hidrólisis a temperatura de ebullición durante 5 horas en un medio ácido, neutralizando posteriormente con hidróxido de potasio.

El almidón hidrolizado se clarifica, adicionando 5 ml de solución I de Carrez y posteriormente 5 ml de la solución II de Carrez.

El producto blanquecino obtenido se filtra y el filtrado se afora en un matraz de 100 ml con agua destilada, obteniéndose una solución con una concentración de 1 mg/ml.

A partir de esta solución se obtienen diluciones de la siguiente manera:

2.5ml de sol. conc. en 100ml de agua destilada	=	25 mg/ml
5.0ml " " " " " " " "	=	50 mg/ml
7.5ml " " " " " " " "	=	75 mg/ml
10 ml " " " " " " " "	=	100 mg/ml
12.5ml " " " " " " " "	=	125 mg/ml

Una vez obtenidas las disoluciones a distintas concentraciones se procede a preparar las muestras para realizar la lectura de la absorción de las mismas a 520 nm

Se coloca 1 ml de cada solución en los tubos de vidrio y se les adiciona 1 ml de Reactivo de Nelson, se llevan a ebullición en Baño María, durante 20 minutos y se enfrían inmediatamente después de transcurrido este tiempo.

Posteriormente se le adiciona 1 ml de reactivo de Arsenomolibdato y 7 ml de agua destilada, se agita y se eliminan las burbujas, para evitar interferencia en la lectura de la absorbancia.

Se lleva a cabo la lectura de absorbancia en un espectrofotómetro Spectronic 20, calibrando el aparato previamente con un blanco.

Del procedimiento anterior se obtienen la curva de absorbancia para las concentraciones manejadas de solución de almidón (de 25 a 125 ug/ml); a partir de la cual se obtiene la ecuación de la recta que se emplea para el cálculo posterior de la concentración de la muestra en base a la lectura de absorbancia presentada.

Preparación de soluciones:

1. Reactivo de Nelson.

Solución A. Disolver 12.5 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  anhidro, 12.5 g de tartrato doble de sodio y potasio, 10 g de  $\text{NaHCO}_3$  y 100 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidro, en 400 ml de agua destilada y aforar a 500ml.

Solución B. Disolver 15 g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  en 90 ml de agua destilada que contenga una o dos gotas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, aforar a 100 ml con agua destilada.

Tomar 25 ml de la solución A y 1 ml de la solución B y mezclar. Este reactivo se emplea como reactivo 1 o reactivo de Nelson. La mezcla debe prepararse al momento de utilizarse.

2. Reactivo de Arsenomolibdato.

Disolver 25 g de molibdato de amonio en 450 ml de agua desionizada, agregar 21 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y agitar. Disolver 3 g de  $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en 25 ml de agua desionizada y agregar la solución de molibdato. Incubar la disolución amarilla resultante a  $37^\circ\text{C}$  durante 24 hrs. Almacenar en un frasco ámbar.

3. Solución clarificante, de Carrez.

Solución I. Pesar 21.9 g de acetato de Zinc dihidratado en agua con 3 ml de ácido acético, llevar a 100 ml con agua destilada.

Solución II. Pesar 10.6 g de ferrocianuro de Potasio trihidratado y llevar a 100 ml de agua destilada.

Para la determinación del almidón en la muestra se realiza el cálculo para un tamaño de muestra cuya lectura de absorbancia (teórica) esté dentro de la parte central de la curva estandar y se somete la muestra al mismo tratamiento que el almidón puro, es decir, hidrólisis, neutralización, clarificación, filtración y lectura de absorbancia.

#### DETERMINACION DE INDICE DE ABSORCION

##### Análisis de almidones pregelatinizados. (40)

- Pesar 2.0 g de muestra en un tubo de centrifuga previamente tarado.
- Agregar 40 ml de agua destilada y agitar vigorosamente hasta suspender la muestra.
- Dejar la suspensión en reposo durante 10 minutos, invirtiendo el tubo dos o tres veces al término de 5 y 10 minutos.
- Centrifugar durante 15 min. a 1000 rpm.
- Decantar cuidadosamente el sobrenadante y pesar el tubo con el residuo.

##### Cálculos:

$$\text{Capacidad de hidratación} = \frac{(\text{Peso del tubo} + \text{sedimento}) - (\text{peso del tubo})}{\text{peso de la muestra seca}}$$

#### DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE ACETILOS.

Análisis de acetatos de almidón de bajo grado de sustitución (40).

- Colocar 5 g. de muestra seca o de humedad conocida, en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. (correr simultaneamente un blanco)
- Agregar 50 ml de agua destilada y agitar hasta formar una suspension homogenea.
- Adicionar unas gotas de fenolftaleína como indicador.
- Titular la suspension con Hidróxido de sodio 0.1 N hasta un punto en el que el color rosa sea permanente.
- Adicionar 25 ml de Hidróxido de sodio 0.45 N cuidando no humedecer las paredes del matraz.
- Tapar perfectamente el matraz con un tapón de hule.
- Agitar vigorosamente durante 30 min. empleando un agitador mecánico.
- Después de la agitación, remover cuidadosamente el tapón y lavarlo junto con las paredes del matraz con una pequeña cantidad de agua destilada.
- Titular la mezcla con una solución valorada de ácido clorhídrico hasta la desaparición del color rosa.

Cálculos:

Porcentaje de acetilos =

$$\frac{(\text{ml blanco} - \text{ml muestra}) \times \text{Normalidad del ácido} \times 0.043 \times 100}{\text{g. de muestra (base seca)}}$$

#### SECADO DE ALMIDON PREGELATINIZADO

Secado con secador de charolas.

- Se utilizó una estufa de laboratorio, a una temperatura de 50 °C.

- El gel obtenido se fraccionó manualmente en pequeñas partículas.

- Una vez desbaratado el gel se colocó en charolas de 20cm de ancho x 30cm de largo x 1cm de altura, formando una capa con un espesor máximo de 0.5 cm.

- Las charolas se mantuvieron a una temperatura de 50 °C, hasta alcanzar el almidón una humedad de 13 %.

## BIBLIOGRAFIA

1. Anuarios estadísticos de la Dirección General de Economía Agrícola. SARH.
2. Badui, D.S.  
Diccionario de Ciencia de los Alimentos.  
Alhambra Universidad, México, 1982  
225 págs.
3. Badui, D.S.  
Química de los Alimentos  
Alhambra Universidad, México, 1988  
430 págs.
4. Blanshard, J. M. V.  
Starch Granule Structure and Function: A Physicochemical approach.  
Critical Reports and Applied Chemistry, Vol 13, No.2,  
1987  
págs. 16-54
5. Brennan, J.G.; Butters, J.R.; Cowell, N.D.; Lilly, A.E.  
Food Engineering Operations  
Applied Science Publishers Limited, USA, 1976  
532 págs.
6. Bushway, A.A.,  
Potato starch and flour in Frankfurters: Effect on  
chemical and sensory properties and total plate counts.  
Journal of Food Science, Vol. 47, No. 2, 1982  
pags. 402-404
7. Collison, R.; Elton, G. A. H.  
Some Factors which influence the Rheological properties  
of starch gels  
Die Stärke, Vol. 13, No. 5, 1961  
págs. 162-173
8. Daniel, W.W.  
Bioestadística: Base para el análisis de las Ciencias de  
la Salud  
Editorial Limusa, México, 1984  
485 págs.

9. DDF, CEDA, COABASTO  
Producto papa alpha para el D.F.  
Mayo 1988, 39 pág.
10. Doublier, J. L.; Colonna, P. ; Mercier, C.  
Extrusion Cooking and Drum Drying of Wheat Starch. II  
Rheological Characterization of Starch Pastes  
Cereal Chemistry, Vol 63, No. 3, 1986  
págs. 240-246
11. Doublier, J. L.; Llamas, G.; Le Meur, M.  
A Rheological Investigation of Cereal Starch Pastes and  
Gels. Effect of Pasting Procedures.  
Carbohydrate Polymers, Vol. 7, 1987  
págs. 251-275
12. Eliasson A. C.  
Viscoelastic Behaviour During the Gelatinization of  
Starch. I Comparison of Wheat, Maize, Potato and Waxy-  
Barley Starches.  
Journal of Texture Studies, Vol. 17, 1986  
págs. 253-265
13. Furia, T. E.  
Handbook of food additives  
The Chemical Rubber Co., USA, 1968  
771 págs.
14. Galliard, T.; Bowler, P.  
Morphology and Composition of Starch  
Critical Reports and Applied Chemistry, Vol. 13,  
No. 3, 1987  
págs. 55-78
15. Graham, H.D.  
Food Colloids  
The Avi Pub. Co., W. Connecticut, 1977  
589 págs.
16. Hide, G.A.; Lapwood, D.H.  
Disease aspects of potato production  
Potato Crop, Cap.II.  
Academic Press, England, 1967  
págs. 409-431

17. Heid, J.L.; Joslyn, M.A.  
Food Processing Operations  
Avi Pub Co., Westport Connecticut, 1981  
358 págs.
18. International Potato Center, Lima, Perú  
Designed Plant Produces Dried Potato and starch  
Circular, Vol. 8, No. 6, Junio, 1980  
págs. 1 - 5
19. Karkalas, J.  
An improved enzymic method for the determination of  
native and modified starch  
Journal of the Science of Food and Agriculture, Vol. 36,  
No. 10, October 1985  
págs. 10-19
20. Kerr, R. W.  
Chemistry and industry of starch  
2a. ed.  
Academic Press, USA, 1950  
719 págs.
21. Kirk,  
Pearson: Food Analysis and composition  
Academic Press, England, 1991  
344 Págs.
22. Kohyama, K.; Nishinari, K.  
Cellulose derivatives effects on gelatinization and  
retrogradation of sweet potato starch.  
Journal of Food Science, Vol. 57, # 1, 1992  
págs. 128-131
23. Kubota, K.; Hosokawa, Y.; Suzuki, K.; Hosaka, H.  
Studies on the Gelatinization Rate of Rice and Potato  
Starches.  
Journal of Food Science, Vol. 44, 1979  
págs. 1394-1397
24. Lee, Y.C.; Kim, K.T.  
Gelatinization and liquefaction of starch with a heat  
stable alfa amylase  
Journal of Food Science, Vol. 55, # 5, 1990  
págs. 1365-1366

25. Leszkowiat, M.J.; Yada, R.Y., Coffin, R.H.; Stanley, D.W.  
Starch gelatinization in cold temperature sweetening  
resistant potatoes  
Journal of Food Science, Vol. 55, # 5, 1990  
págs. 1338-1340
26. Loncin, Marcel; Merson Richard Larry  
Food Engineering. Principles and selected applications  
Academic Press, New York, 1979  
567 págs.
27. Luallen, T. E.  
Structure, Characteristics and uses of some typical  
carbohydrate food ingredients.  
Cereal Foods World, Vol. 33, # 11  
Noviembre 1988, pág. 924-927
28. Madamba, L.S. et al  
Sweet Potato Starch. Physicochemical properties of the  
whole starch.  
Philippine Agriculturist Journal, Vol. 58, No. 9-10,  
February-March, 1975  
pags. 338 - 350
29. Madamba, L. et al  
Varietal differences in amylose content of sweet potato  
starch  
Natural Science Research Center, No. 4, 1979  
pags. 26 - 32
30. Miller, I.; Freund, J.E.  
Probabilidad y estadística para ingenieros  
3a. ed.  
Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.; México, 1986  
574 págs.
31. Mc Nicol, D.G. et al.  
Grain starch utilization study  
Pub. Canada Wheat Board  
147 pags.
32. Murillo G. M. M. G. y Valdés M. del C. M. S.  
"Obtención de almidón de papa"  
Tesis, FES-C, UNAM, 1990.

33. O'Mahony, M.  
Sensory Evaluation of Food  
Statistical Methods and Procedures  
Marcel Dekker, Inc., USA, 1980  
471 págs.
34. Reddy, N.N. et al  
Effect of cultivar, size, storage, and cooking method on  
carbohydrates and some nutrients of sweet potatoes.  
Journal of Food Science, Vol 45, No. 3, 1980  
págs. 682-684
35. Talburt F., William  
Potato processing  
AVI Pub. Co., USA, 1967
36. Traybal, Robert E.;  
Operaciones de Transferencia de Masa  
McGraw Hill, USA, 1980  
858 págs.
37. Van Beynum, G. A. M. ; Roe J. A.  
Starch Conversion Technology  
Mancel Dekker Inc., USA, 1985  
págs. 73-99
38. Walter, W.M.; Giesbrecht, F.  
Effect of lye peeling conditions of phenolic destruction,  
starch hydrolysis and carotene loss in sweet potatoes  
Journal of Food Science, Vol. 47, No. 3, 1982  
págs. 810-812
39. Walter, W.M.; Giesbrecht, F.  
Effect of lye peeling conditions on sweet potato tissue  
Journal of Food Science, Vol. 47, No. 3, 1982  
págs. 813-817
40. Werge, Robert W.  
Potato processing in the Central Highlands of Peru  
Ecology of Food and Nutrition, Vol. 7, No. 3, 1979  
págs. 229-234
41. Whistler, Roy L.  
Starch chemistry and technology  
Academic Press, London, England, 1976  
527 págs.

42. Whistler, R.; Bemiller, J.; Paschall, E.  
Starch chemistry and technology  
2a. edición  
Academic Press, London, England, 1984  
735 pags.