

300 027
19
2ij



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

INCORPORADA A LA UNAM

**"ELABORACION, CARACTERIZACION Y
PREGELATINIZACION DE HARINA DE PAPA
(Solanum tuberosum)"**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
P R E S E N T A N
RAFAEL MIGUEL ORTEGA MUÑOZ
FRANCISCO JAVIER VELA GARCIA**

DIRECTOR DE TESIS: O. IRENE MONTALVO VELARDE

MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ASESOR EXTERNO

M.C. Lilia del Carmen Vázquez Chávez.

**Jefe del Laboratorio de Tecnología de Cereales. Universidad Autónoma
Metropolitana Iztapalapa**

**Este trabajo de investigación se realizó con el apoyo de CONACYT y de la
Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa**

A nuestros padres:

Que con su amor, consejos, entusiasmo y comprensión, nos han enseñado a crear nuestro proyecto de vida.

A nuestros maestros:

Les agradecemos el que hallamos logrado llegar a esta meta. Nuestro mas sincero reconocimiento a su maravillosa entrega que es la docencia

A nuestros hermanos:

Por su apoyo y cariño incondicional.

Indice	Página
Capítulo I Introducción	1
Capítulo II Objetivo	3
Capítulo III Generalidades	4
3.1 La papa en México	4
3.1.1 Origen	4
3.1.2 Descripción botánica	4
3.1.3 Entidades productoras	4
3.1.4 Aspectos ecológicos, agronómicos y culturales	5
- Clima	5
- Suelo	6
- Sistema de cultivo	6
3.1.5 Variedades	6
3.1.6 Fertilización	9
3.1.7 Plagas y enfermedades	9
- Enfermedades	9
- Plagas	9
3.1.8 Cosecha	10
3.1.9 Utilización de la papa en México	10
3.2 Obtención de la harina de papa	11
3.2.1 Oscurecimiento enzimático	11
3.2.2 Oscurecimiento no enzimático. Efecto de los sulfitos	12
3.2.3 Proceso de obtención tradicional	14
- Lavado	15
- Pelado	15
- Inspección y selección	15
- Cortado	15
- Blanqueado	15
- Sulfitación	16
- Secado	16
Transformación del almidón-azúcar en papas durante el secado	16
- Molienda y tamizado	17
3.2.4 Contenido de humedad en el equilibrio y Aw	17
3.2.5 Utilización de la harina de papa como sustituto de algunos cereales	19
3.2.6 Otros productos derivados de papa	20
3.3 Almidón	20
3.3.1 Estructura	20
- Amilosa	22
- Amilopectina	23
3.3.2 Funcionalidad	24
Interacción del almidón con otros componentes en sistemas alimenticios	25
3.3.3 Origen del almidón	25
- de maíz	25
- de tapioca	26
- de papa	26
- de trigo	26
- de sagú	26

- de arruruz	26
- de arroz	26
- de sorgo ceroso	26
- de camote	28
- de cebada	28
- de maíz ceroso	27
3.3.4 Gelatinización	27
- Determinantes físicas y químicas de las características de un gel	28
- El enlace de hidrógeno como la base de la interpretación del comportamiento y reactividad del almidón	28
- Hidratación, gelatinización y gelación en términos de los enlaces de hidrógeno	29
3.3.5 Retrogradación	30
- Cambios ocurridos durante la retrogradación	31
- Factores que afectan la retrogradación	31
- Naturaleza física de la retrogradación	31
3.3.6 Almidones modificados. Producción y usos	32
- Almidones hipoclorito-oxidados	32
- Almidones de enlaces cruzados	33
- Esteres de almidón	33
- Hidroxialquil almidones	34
- Fosfato monoesteres de almidón	34
- Almidones catiónicos	34
3.3.7 Almidón de papa	35
- Generalidades	35
- Proceso de manufactura	36
- Modificaciones y derivados	37
- Usos	37
- Naturaleza y propiedades	37
- Aplicaciones en la industria alimenticia	40
Productos cármicos	40
Aceites	41
Panificación	41
Sopas y aderezos	42
- Aplicaciones en la industria no alimenticia	42
Industria papelera	42
Adhesivos	42
Industria Textil	42
Industria farmacéutica	43
3.4 Almidones pregelatinizados	43
3.4.1 Producción	43
3.4.2 Pruebas y evaluación	45
3.4.3 Propiedades y comportamiento	45
3.4.4 Usos	46
3.5 Viscosidad	47
3.5.1 Introducción	47
3.5.2 Tensión de corte y tasa de corte	48
3.5.3 Fluidos newtonianos y viscosidad dinámica	49
3.5.4 Efecto de la temperatura	50
3.5.5 Viscosidad cinemática	50
3.5.6 Viscosidad relativa y específica	51
3.5.7 Comportamiento no newtoniano	52
- Fluidos independientes del tiempo	52

- Fluidos dependientes del tiempo	54
3.5.6 Métodos para determinar la viscosidad	56
- Método del línea de flujo de vapor	56
- Viscosímetro de flujo capilar	57
- Viscosímetro de caída de esfera	57
- Viscosímetros rotacionales	58
3.5.9 Viscosímetros rotacionales	58
Capítulo IV Diseño experimental y metodología	60
4.1 Diseño experimental	60
4.2 Metodología	61
4.2.1 Determinación del agente blanqueante, concentración, tiempo de inmersión y temperatura de secado	61
4.2.2 Curva de secado	63
4.2.3 Obtención de la harina	63
4.2.4 Análisis de materia prima, harina y subproductos	64
A) Análisis bromatológico	64
B) Análisis fisicoquímico	64
C) Rendimiento del proceso	64
D) Análisis reológico	65
4.2.5 Obtención del pregelatinizado	65
4.2.6 Análisis de varianza	65
Capítulo V Resultados y discusión de resultados	67
5.1 Determinación del agente blanqueante, concentración y temperatura de inmersión	67
5.1.1 Bisulfito de sodio	67
5.1.2 Otros agentes blanqueantes	68
5.2 Curva de secado	68
5.3 Rendimiento	69
5.4 Extracto seco del agua de filtrado	69
5.5 Análisis bromatológico	70
5.5.1 Humedad	70
5.5.2 Proteína	71
5.5.3 Cenizas	71
5.5.4 Grasa	71
5.6 Análisis fisicoquímico	71
5.6.1 Reductores directos	72
5.6.2 pH	72
5.6.3 Actividad de agua (Aw)	73
5.6.4 Bisulfito residual	73
5.6.5 Color	74
5.7 Análisis reológico	75

5.7.1 Comparación reológica de 4 distintos lotes	75
5.7.2 Efecto de la concentración en la viscosidad	78
5.7.3 Comparación de distintas pastas de almidones	78
5.8 Análisis del pregelatinizado	81
5.8.1 Microscópico	81
5.8.2 Color	81
5.8.3 Reológico	81
Capítulo VI Conclusiones	83
Capítulo VII Bibliografía	85
Apéndice 1 Fórmulas utilizadas en el ANDEVA	88
Apéndice 2 Factores de conversión del viscosímetro de Brookfield	89
Apéndice 3 Condensado de resultados del ANDEVA	90
Índice de tablas, gráficas y figuras	91

Capítulo I Introducción

La papa, que en la actualidad se cultiva en casi todo el mundo, es un vegetal excelente desde el punto de vista nutricional. En muchos países es la comida básica como el arroz, el pan o las pastas. En algunas naciones como Alemania, Rusia y Polonia se consumen alrededor de 180 kilos per capita al año y en otras, como los Estados Unidos, la papa procesada ha alcanzado elevados niveles de refinamiento industrial con una gran variedad de presentaciones del producto. Aunque la papa sólo contiene alrededor del 14% de almidón, la mayoría de las personas la conocen como "un alimento de engorda" (11).

Además de energía, las papas también suministran nutrimentos esenciales para la buena salud, especialmente ácido ascórbico, así como minerales, entre ellos Ca, Fe, P y K al igual que proteínas y vitaminas como tiamina, riboflavina y niacina (11).

En México, de las 43 hortalizas que se cultivan, la papa ocupa el primer lugar en importancia en cuanto a superficie cosechada. En 1989 se sembraron 69,165 mil hectáreas, (46) que representa el 26.3% del total (43). En cuanto a producción, ocupa el segundo lugar atrás del jitomate (44).

El abastecimiento nacional se origina principalmente en 15 entidades que aportan el 95.23% del total cosechado, destacando Veracruz, Puebla, Chihuahua, Guanajuato, Sinaloa, Michoacán, Estado de México. Dentro de estas 15 unidades geográficas se localizan 170 municipios productores y de ellos 123 son los que registran los mayores volúmenes cosechados (44).

El consumo nacional se satisface fundamentalmente con la producción nacional, por ello las máximas importaciones realizadas en 1979, 1980 y 1981 apenas alcanzaron 1.58%, 2.89% y 2.87% respectivamente (45), mientras que la exportación registra dos salidas en mayores cantidades durante los años 1978 y 1977 con 33 mil y 13 mil toneladas en su orden representando el 4.76% y el 2.09% del total de la producción de esos años (43, 44).

Por lo que se refiere a variedades cultivadas, se dan a conocer las principales son: Alpha, Atzimba, Greta, López, Rosita, White Rose etc. (44).

Una alternativa para conservar las papas y evitar su desperdicio es obtener una harina, la cual puede estar estable durante largos períodos de tiempo si se almacena a una temperatura de 20°C y una actividad de agua de la harina entre 0.4 y 0.5 (16).

Dado que la harina de papa es una alternativa para conservar este producto, se propone en este trabajo la obtención de una harina a través de un método diferente a los ya existentes (norteamericano y europeo) donde las características fisicoquímicas de la harina obtenida serán diferentes a la harina comercial.

La harina de papa y los productos derivados de ésta, tienen gran demanda en el mercado por su uso extenso en las industrias alimentaria, farmacéutica, textil y papelera. Dentro de la industria alimentaria puede emplearse con diversos fines: como sustituto de harina de trigo en panificación (7, 14, 52), en la fabricación de tortillas (13), helados (1), productos cásmicos (37), o en pastas, pasteles, donas (9). Esto se debe a que son productos con características funcionales pues presentan una mayor viscosidad, gelatinización a menor temperatura. Además, el almidón de estos productos es susceptible de ser modificado mecánicamente, teniendo una gran estabilidad química, ya que presenta poca retrogradación.

Con base a las variables de respuesta se seleccionará el lote con las mejores características. Esta harina se pretende utilizar como un aditivo (espesante), y esto se logrará modificándola con un tratamiento simultáneo de gelatinización y secado para obtener una harina que tenga sus almidones pregelatinizados. Estos tienen la característica de formar un gel en agua fría, y viscosidad instantánea (28), sin necesidad de calentar. Esto ahorra tiempo y energía a las empresas que emplean este material, pues tiene múltiples aplicaciones en la industria alimentaria como fabricación de esponjas comestibles de almidón, rellenos pasteleros, pudines y agentes estabilizantes, fabricación de dulces, mezclas panaderas, en alimentos instantáneos, etc.; así como en la industria no alimenticia (14).

La papa se escogió como materia prima ya que en México hay una producción vasta de la variedad alpha, además de que los almidones de papa presentan mayor funcionalidad sobre los almidones de maíz, trigo, tapioca. Es decir, menor temperatura de gelatinización, menor retrogradación, mayor viscosidad, mayor poder ligante etc. (36,37). En nuestro país el mercado está dominado por el almidón de maíz, el cual tiene un proceso de extracción más complicado, la harina de papa que se pretende obtener y su forma modificada, por su sencillez en la elaboración, podría tener un posible lugar dentro del mercado.

Capítulo I: Objetivos

- 1. Diseñar un proceso económico y de fácil reproducción para obtener harina de papa.**
- 2. Establecer la funcionalidad de la harina de papa sin modificar con base en sus características fisicoquímicas y reológicas.**
- 3. Modificar la harina obtenida mediante un tratamiento térmico para pregelatinizar los almidones presentes.**

Capítulo III Generalidades

3.1 La papa en México

La papa o patata recibe diferentes nombres comunes o vulgares en idiomas extranjeros de los países donde se producen. En México recibió el nombre de pápotl por los náhoas y actualmente es conocida más comúnmente como papa y menos frecuentemente como patata. Forma parte del numeroso grupo de plantas usadas en la alimentación humana conocidas como hortalizas, aunque también suelen llamárseles verduras.

3.1.1 Origen

De origen montañoso, alcanza su punto óptimo de vegetación, donde el clima registra entre los 12 y los 18 °C. De entre otras variedades se puede mencionar el *S. demissum*, que se le sitúa como espontáneo de México. Otras muchas especies silvestres tienen su origen en las regiones frías de Perú, Bolivia, Ecuador y en las Costas e Islas del sur de Chile.

Textos relativos a la planta de papa mencionan que en 1565 se introdujo el cultivo a Irlanda, y se produce su gradual aparición en varios países europeos durante los siglos XVII y XVIII, a donde fue llevada desde el nuevo mundo. Por lo bajo de su precio y su elevado poder alimenticio, diversas naciones del viejo mundo se interesaron en su cultivo con el fin de evitar rigores de hambre entre sus pueblos (43).

3.1.2 Descripción botánica

La papa posee largos estolones subterráneos que desarrollan en sus extremos los tubérculos, los cuales constituyen la parte comestible de la planta.

La pulpa de los tubérculos está formada por la proliferación de células parenquimatosas que almacenan el almidón y las sustancias nitrogenadas como material de reserva para la vegetación sucesiva de la planta.

La zona exterior es más rica en almidón que en la parte interior; en cambio, las sustancias nitrogenadas aumentan de la periferia al centro (44). Los tubérculos de formas ovoides o cilíndricos, con piel blanca, amarilla, rosa o violeta, pesan desde varios gramos hasta medio kilo, según la variedad y la edad a que se cosechan.

Los tallos son de 2 tipos: aéreos y subterráneos. Los primeros son de color verde o púrpura verdoso; los segundos son estolones y tubérculos. Los estolones son aproximadamente del tamaño de un lápiz y crecen lateralmente a una distancia de 2.5 a 10 cm. Los tubérculos nacen en la extremidad de los estolones y son cortos, gruesos y camosos.

3.1.3 Entidades productoras

Con base a las cifras definitivas del año agrícola 1993, la producción nacional arrojó un promedio de 1,122,000 toneladas, obtenidas en 27 entidades; de éstas, 15 aportaron el 95.23% del total del abastecimiento nacional para situarse como las principales. Dentro de este grupo, destacan entidades paperas tradicionales como Veracruz (3.41%), Puebla (0.93%), Chihuahua (7.01%), Guanajuato (6.06%) y Sinaloa (15.07%). Un segundo bloque de entidades productoras incluye a estados como Michoacán, Estado de México, Nuevo León, Baja California Norte, Sonora, Hidalgo, Tlaxcala, Jalisco, que tuvieron producciones de gran significación (44,45).

La producción de papa en el país, que incluye a todas las variedades existentes, se ha incrementado en los últimos 17 años a un ritmo mayor que el presentado por el avance de la población. Esta expansión de los volúmenes producidos ha estado determinada por el incremento de las superficies cosechadas, y en menor grado, por el aumento de los rendimientos obtenidos; la tabla No. 1 nos indica las principales hortalizas cultivadas en 1985, ocupando la papa el primer lugar en cuanto a superficie cosechada y el segundo respecto a los volúmenes de producción (43).

Tabla núm. 1

Superficie cosechada, producción y exportación de las principales hortalizas del país (1985)

Concepto	Superficie Cosechada		Producción		Exportaciones *	
	Miles de hectáreas	%	Miles de toneladas	%	Miles de toneladas	%
Hortalizas						
Ajo	5.9	2.2	49.3	1.2	6.5	0.9
Calabacitas	10.2	3.8	92.4	2.2	98.3	13.2
Pepino	13.6	5.0	225.3	5.3	138.5	18.5
Zanahoria	4.6	1.7	109.3	2.6	4.2	0.6
Tomate	14	5.2	166.9	4.0	63.6	8.5
Chile verde	56	20.6	594.7	14.1	96.9	12.9
Jitomate	65.5	24.1	1458.7	34.9	306.9	41.1
Cebolla	29.6	10.9	517.4	12.3	32.2	4.3
Papa	71.9	26.5	989.4	23.5	-	-
TOTAL	271.3	100.0	4213.4	100.0	746.8	100.0

* Se trata de la temporada 1985-1986, y exclusivamente de las exportaciones controladas por la Unión Nacional de Productores de Hortalizas (UNPH), Boletín anual, temporada 1985-1986, Puerto Vallarta, Jalisco, Noviembre 1986, p. 44.

Fuente: S.A.R.H., Subdirección de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal, Dirección General de Política y Desarrollo Agropecuario y Forestal, Cosechas obtenidas, Mayo, 1987.

Dado que no existen estadísticas a nivel nacional (y muchas veces ni a nivel estatal) sobre el cultivo de la papa alpha en específico, se realizó un intento de cuantificación basado en la investigación de campo efectuada en diversas zonas de producción. De él se desprende que la superficie sembrada de papa alpha en el ciclo 1986-1987 fue aproximadamente de 26,035 hectáreas, mientras que el promedio de los rendimientos y la producción nacional esperada es de 22.06 ton/ha y 574,450 toneladas respectivamente. Dado que en 1986 la superficie cosechada de papa (incluyendo todas las variedades) fue de 83,358 hectáreas, y la producción nacional de 1,215,359 toneladas, la papa alpha representó el 31.2% de la primera cosecha lo que representa cerca de la mitad del volumen total producido por esta hortaliza (43,46).

3.1.4 Aspectos ecológicos, agronómicos y culturales

- **Clima.**- La papa para su óptimo desarrollo, requiere de climas templados, sin exces de humedad que obstaculice la maduración de los tubérculos. En general, la variación de la temperatura óptima oscila entre los 7.2 y los 18.3 °C. Dependiendo de la variedad, el ciclo vegetativo de la papa se define como tardío cuando requiere de 120 a 180 días entre la siembra y la cosecha, intermedio de 105 a 120 y precoz entre 90 y 105 días.

En México, las principales regiones productoras se localizan en lugares con altitudes que van desde 15 metros en algunos lugares de Baja California Norte, Sonora o Sinaloa hasta 3 000 metros sobre el nivel del mar en sierras y valles altos de estados como México, Puebla y Tlaxcala (44).

- Suelo.- La planta de papa se adapta a terrenos muy diversos, con preferencia a los de mediana textura; los migajones arenosos y suelos orgánicos fértiles son ideales, en suelos minerales la adición de materia orgánica descompuesta es generalmente benéfica. El cultivo de la papa prospera mejor en suelos con un valor de pH situado entre 5.0 y 5.4 (44).

- Sistema de cultivo.- Dependiendo de la región y de la variedad de papa que se recomiende utilizar, el cultivo se inicia con el barbecho del terreno a una profundidad de 25 a 30 cm, con el fin de tener una capa de terreno fácilmente manejable donde se desarrollen normalmente los tubérculos. Del tamaño de los tubérculos, dependerá la cantidad de semilla por hectárea. Para prevenir enfermedades fungosas, se les da un tratamiento previo con algún fungicida.

Se recomienda que los tubérculos para siembra procedan de variedades certificadas las cuales son reproducidas especialmente para este fin; sin embargo, cuando no sea posible, en el material de siembra se buscarán las siguientes características:

- + Que proceda de plantaciones vigorosas con altos rendimientos y de una cosecha reciente.
- + Que esté adaptada a la altura y clima imperante en la región.
- + Que las piezas de papa presenten un color claro y bien distribuido.
- + De ser posible, que sea resistente a enfermedades.
- + Que sea del tamaño limón o de un huevo pequeño.
- + Que tenga ojos poco profundos.

La siembra se realiza en terreno húmedo, depositando la semilla a una profundidad de 15 a 20 cm, procurando que los tubérculos no queden en contacto con el fertilizante aplicado antes de la siembra.

En aquellas áreas donde el cultivo es de riego o donde es necesario recurrir a ésta práctica de auxilio, es de suma importancia el buen manejo del agua, por tratarse de un cultivo demasiado susceptible tanto al exceso de humedad como a la sequía (44).

3.1.5 Variedades

Diversos autores que tratan sobre el cultivo de la papa, consideran difícil su clasificación por variedades, atendiendo a la forma de los tubérculos, señalan la existencia de un gran número de formas; sin embargo, dan a conocer para algunos países europeos términos para designarlas como redondeadas, oblongas etc. Atendiendo al color de la pulpa de los tubérculos, la clasificación se reduce a designarlas como variedades de pulpa blanca y variedades de pulpa amarilla.

Desde el punto de vista de su aprovechamiento las agrupan en 3 clases. esto es tomando en cuenta la consistencia de la pulpa, formada por la proliferación de las células parenquimatosas que almacenan almidón y las sustancias nitrogenadas.(44)

- Las variedades industriales, utilizadas para la obtención de fécula y de alcohol. Están formadas por tubérculos con tejidos blandos que alcanzan una riqueza de fécula del 19 al 20%; en las comestibles la fécula no supera el 25%.

- Las variedades de gran consumo. Están constituidas por tubérculos de pulpa blanca, formada por células mas pequeñas y de mayor consistencia, se utilizan en la alimentación de grandes núcleos de la población y como complemento en la alimentación animal; también, son utilizadas en la obtención de fécula.

- Las variedades horticolas, muy apreciadas en la dieta alimenticia, tienen por lo general pulpa de color amarillo formada por células pequeñas apretadas. Suelen ser de cosecha temprana y de rápido desarrollo; el tubérculo tiene forma regular, redondeada, con piel lisa, con frecuencia consistente y gruesa.

Para facilitar su clasificación, comúnmente reciben un nombre que las identifica, se puede complementar con la adición de las otras características descritas. En México, la información obtenida de las 15 principales entidades productoras permitió conocer las variedades de siembra más usuales y la coloración de la pulpa, tal información se presenta a continuación (43).

Tabla núm. 2

Coloración de la pulpa de las principales variedades cultivadas

Entidad	Coloración de la Pulpa		
	Amarilla	Crema	Blanca
Veracruz	Atzimba*	Greta*	Alpha
	López	Furore	-
	Yema	Rosita	-
	Leona	Monsema	-
Puebla	López*	Rosita	Alpha
	Yema	Monsema	-
	Atzimba	Furore	-
	Leona	Greta	-
Chihuahua	-	-	Alpha*
	-	-	Prevalent
	-	-	W. Rose
Guanajuato	-	Furore	Alpha*
	-	Amigo	Prevalent
	-	Cardinal	Patrones
	-	Procura	-
Sinaloa	-	-	Alpha*
	-	-	W. Rose*

Michoacán

Atzimba	Rosita*	Alpha*
-	Murca	-
-	Juanita	-

México

López*	Rosita*	-
Tollocan	-	-
Atzimba	-	-

Nuevo León

-	-	Alpha*
-	-	Patrones

B.C.N.

-	-	W. Rose*
-	-	Alpha*

Sonora

Tollocan+	-	Alpha*
-	-	W. Rose*
-	-	Patrones

Hidalgo

López	Greta*	Alpha
-	Rosita	-

Tlaxcala

López	Greta	Alpha*
Atzimba	Furore	-

Aguascalientes

-	-	Alpha*
---	---	--------

Durango

Atzimba	-	Alpha*
---------	---	--------

Jalisco

-	Rosita	Alpha*
-	Furore	Prevalent

* Variedad principal, el resto secundarias.

+ En experimentación.

Fuente: S.A.R.H. (44)

3.1.6 Fertilización

La utilización de abonos y fertilizantes durante el cultivo de la papa, es uno de los factores que influyen más decisivamente en el rendimiento por hectárea, y por consiguiente en la producción.

La cantidad óptima de nitrógeno depende de la fertilidad del terreno y de la cantidad de follaje que se desee; por ejemplo, para un período vegetativo largo se necesita más follaje que para un cultivo con un período vegetativo corto. Respecto al fósforo y al potasio, las dosis óptimas dependerán en más alto grado del tipo del suelo. Dentro de las recomendaciones técnicas de aplicación, se indica que el fertilizante no debe estar en contacto directo con la semilla, para evitar daños en los brotes y en las raíces del tubérculo.

La aplicación de abonos orgánicos (estiércol, gallinaza, etc.), abonado en verde (gramínea o tréboles) estará en función de las disposiciones locales; lleva como finalidad mejorar la estructura del suelo, proporcionando además, parte de los nutrientes requeridos por las plantas que se complementarán posteriormente con los abonos minerales.

3.1.7 Plagas y enfermedades

Las diferentes plagas y enfermedades que atacan al cultivo de la papa, ocasionan serios daños tanto al follaje de la planta, como a las raíces y más severos cuando se resienten en los tubérculos; a continuación se mencionan las más comunes:

- Enfermedades:

Tizón tardío.- *Phytophthora infestans*. Es una enfermedad fungosa favorecida por alta humedad y bajas temperaturas. Ataca el follaje de las plantas causando lesiones oscuras, circulares y de tamaño variable. Los tubérculos atacados muestran lesiones necróticas, en forma marginal de anillos irregulares que avanzan parcial o totalmente en el tubérculo.

Costra Negra.- *Rhizoctonia solani*. Constituye una de las enfermedades más comunes y graves de la papa en algunas regiones productoras; ocasiona lesiones definidas de color café oscuro o rojizo a lo largo de la raíz. En el tubérculo pueden presentarse manchas circulares, irregulares, abultadas compuestas por tierra y micelio del hongo, adheridos al tubérculo.

Punta morada.- Enfermedad de origen viral, transmitido por chicharritas. Se presenta en las siembras tempranas. Las plantas afectadas tienen un menor crecimiento, sobre todo cuando la infección ocurre en la primera etapa del desarrollo de la planta. Los tubérculos muestran lesiones internas oscuras.

Piema Negra.- *Erwinia atroseptica*. Origina que las plantas suspendan su crecimiento y las hojas se amarillean y enrollen. La base de los tallos se pone negra progresando la infección por los estolones hasta los tubérculos donde aparecen áreas oscuras por fuera y una pudrición suave por dentro.

Mosalcos.- Enfermedades de origen viroso causadas principalmente por los virus A, X y Y, los virus A y Y son transmitidos por pulgones. Presenta como síntomas el moteado leve o intenso de las hojas, en algunos casos con rugosidad en las hojas y necrosis en las nervaduras.

- Plagas:

Pulgones.- *Myzus persicae*. Se alimentan de la savia de las plantas que parasitan; pero su mayor daño radica en que son transmisores de enfermedades virales, causantes de serios daños al cultivo de la papa.

Mosquita blanca.- Aleyrodidae, sp. Las infestaciones altas pueden causar defoliación total de la planta, ya que se alimenta del follaje de las plantas causando perforaciones irregulares en las hojas.

Palomilla de la papa.- Phthorimaea operculella. Se presenta en cultivos de siembra tardía, las hembras depositan sus huevecillos sobre los tubérculos que están más superficiales. Esto lo hacen penetrando por las rajaduras del terreno; las larvas se alimentan de los tubérculos abriendo galerías donde crisalidan; las papas pierden calidad y son rechazadas del mercado.

Vaquita de la papa.- Pseudomonas solanacearum. El ataque de esta plaga, origina que las plantas muestren síntomas repentinos de marchitez foliar gradual. En los tubérculos, la infección puede aparecer en las yemas haciendo que la tierra se adhiera a los ojos del tubérculo, al cortar la papa transversalmente se nota el anillo vascular ennegrecido y a veces en descomposición.

3.1.8 Cosecha

Se realiza al final del ciclo vegetativo de la planta, cuando los tubérculos se han desarrollado completamente adquiriendo el tamaño comercial óptimo.

En áreas reducidas, las papas se desenterrarán con la utilización de un bieldo o un azadón, incluso, arrancando las plantas. Cuando el terreno sea de mayores dimensiones, se utilizará el arado para romper el camellón.

Para evitar demérito en la calidad de las papas, tanto destinadas para consumo humano como para uso de semilla en siembras posteriores, se procurará observar los siguientes requisitos:

- Se debe causar a los tubérculos el menor daño posible, rozaduras, cortes, grietas y contusiones internas.
- Los tubérculos no deben dañarse por radiación directa del sol (quemadura solar), por temperaturas elevadas (corazón negro), o por bajas temperaturas (daños de heladas).
- Debe haber una separación efectiva de la tierra.
- En el terreno debe quedar el menor número posible de tubérculos.
- No lavar las papas destinadas a semilla por la calda de las yemas (44).

3.1.9 Utilización de la papa en México

La papa es uno de los vegetales hortícolas que puede ser consumido no solo como vegetal puro, sino también en forma de alimento procesado en una amplia gama de variedades.

Son el complemento perfecto para la carne, pescado, ensaladas, huevos, aves y virtualmente toda clase de comidas. Se puede consumir en el desayuno, almuerzo, comida o cena e inclusive entre comidas. En México se han alcanzado promedios de cerca de 16 kilos per capita al año. Lo anterior, obedece a que la papa es excelente desde el punto de vista nutricional, constituye una buena fuente de carbohidratos, el combustible básico del cuerpo humano, así también como de vitamina C, niacina, potasio, hierro, y otros minerales importantes para una dieta balanceada.

Aparte de la forma directa de consumo, existe el proceso industrial para elacorar papas fritas, que se expenden para su consumo tanto en los grandes, medianos o chicos centros urbanos como en los poblados del medio rural (44).

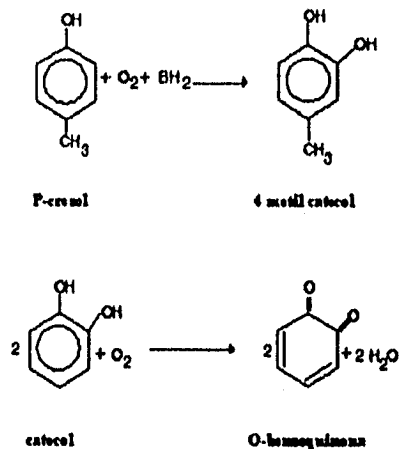
3.2 Obtención de la harina de papa

3.2.1 Oscurecimiento enzimático

La Polifenol Oxidasa (O - Difenol, Oxígeno Oxidoreductasa, E C 1.10.3.1) es también conocida como tirosinasa, polifenolasa, fenolasa, catecol oxidasa, creolasa y catecolasa y está presente en concentraciones particularmente altas en hongos, papas, chícharos, manzanas, plátanos, café y hojas de tabaco. Esta enzima (PPO) cataliza 2 diferentes tipos de reacciones, ambas involucran compuestos fenólicos. Estas reacciones involucran hidroxilación de monofenoles para dar O - Difenoles y la eliminación de hidrógenos de O - Difenol para dar una O - Quinona.

El oxígeno de la hidroxilación viene directamente del oxígeno del aire, no del agua. Un átomo de oxígeno es incorporado dentro del fenol, el otro en el agua de formación, por lo que la PPO actúa como una monooxigenasa en esta reacción, como se ilustra a continuación. El segundo tipo de reacción catalizada es la oxidación de O - Difenol a Benzoquinona. Ambas ilustradas en la figura 1 (41).

Figura núm. 1



La PPO de la papa, manzana, remolacha de azúcar actúa de la manera anterior y como hidroxilante de monofenoles. La PPO está ampliamente distribuida en plantas. El rápido oscurecimiento de muchos vegetales y frutas como papas, manzanas, hongos, chícharos después del corte y exposición al aire es debido a la presencia de esta enzima, pero además, las peroxidasa ácido cítrico oxidasa y otras oxidoreductasas están involucradas.

Se ha desarrollado un gran interés por los inhibidores potenciales de la enzima por que el oscurecimiento representa un serio problema en el procesamiento de alimentos. El oscurecimiento es el resultado de la polimerización o de la polimerización oxidativa de las quinonas formadas de los fenoles mono o di hídricos simples.

El oscurecimiento puede ser prevenido o minimizado por moléculas que formen complejos con las quinonas, como el meta y tetra borato; el ácido ascórbico previene el

oscurecimiento por la reducción de O - Quinona antes de que se polimerice, aunque se requiera de una considerable cantidad de ácido (41). El compuesto comúnmente usado como inhibidor es el sulfito, como SO_2 ó NaHSO_3 . El gas SO_2 es más efectivo por que tiene una tasa rápida de penetración en frutas y papas, pero el bisulfito de sodio es mas fácil de manejar. Usando concentraciones tan pequeñas como de 1 ppm de SO_2 libre es suficiente para dar una inhibición medible de la enzima, pero en la práctica son usadas grandes concentraciones.

Si la reacción enzimática ha producido una quinona antes de la adición del sulfito, éste es oxidado, y se vuelve ineficiente como inhibidor de la enzima (41).

3.2.2 Oscurecimiento no enzimático. Efecto de los sulfitos

Cuando oímos hablar de "reacciones de oscurecimiento no enzimático" estamos condicionados a pensar que es una reacción específica de reactantes particulares llevados a través de una serie de intermediarios predecibles y productos indefinibles. El hecho es que el oscurecimiento no enzimático es una descripción general de diversas reacciones, el aspecto común es que están involucrados intermediarios carbonílicos y son llevados a la formación de diferentes productos. Dentro de esta descripción general, los reactantes iniciales pueden ser químicamente diferentes como un azúcar reductor o una grasa oxidada; cualquiera de éstos puede reaccionar con un aminoácido, una proteína o un fosfolípido, los intermediarios inmediatos incluyen algunos carbonilos simples, carbonilos insaturados, di y policarbonilos, carbonilos cíclicos y acíclicos; los intermediarios tardíos incluyen productos cíclicos y lineales de condensación con aminocompuestos. Una ilustración simple de esto puede ser el rol de 5 hidroximetil-furfuraldehído, el cual parece ser un intermediario importante en la caramelización a altas temperaturas del azúcar. Esto también se ha encontrado en reacciones de ácidos débiles mezclados con azúcares reductores con aminoácidos (Reacción de Maillard) a temperaturas moderadas.

La reacción de Maillard ha sido estudiada mas ampliamente que otro tipo de reacción de oscurecimiento, por lo que es importante describir los aspectos relevantes de la reacción de Maillard y compararla con otros tipos de oscurecimientos. Es conocido que la reacción de Maillard es influenciada por el cambio de humedad, pH, temperatura y tipo de azúcar usado. Una humedad muy baja y una muy alta detienen la reacción completamente; también, la tasa de reacción se incrementa por un aumento en el pH, a pH de 7, la reacción es 10 veces más rápida a un pH de 3. La temperatura sin embargo, tiene un dramático efecto, la reacción es 9 000 veces más rápida a 70°C. que a 10°C. y 40 000 veces a 80°C. que a 0°C (19).

No todos los carbohidratos, solo los reductores toman parte en las reacciones de Maillard. A 37°C. y 15% de humedad, el orden de reactividad es el siguiente:

Xilosa > Arabinosa > Glucosa > Lactosa > Maltosa > Fructosa

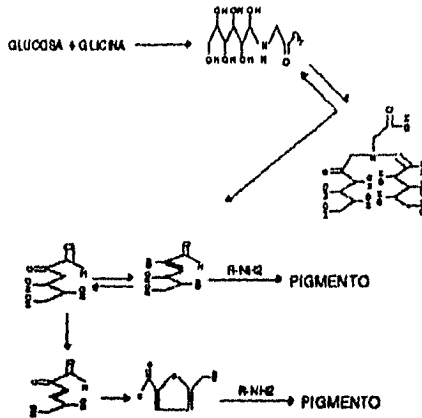
La fructosa es aproximadamente 1/10 de reactivo que la glucosa (19).

En el caso específico de glucosa y glicina, el comportamiento general aceptado de la serie de reacciones se indica en la figura número 2. En la cual se ilustran los caminos en los cuales varios tipos de intermediarios carbonílicos pueden ser formados. El alcance de cada tipo de intermediarios que se forma puede ser influenciado por la temperatura, pH y concentración, y también por la sustitución de otros carbohidratos por glucosa.

Hay información acerca de tasas relativas del color desarrollado con varias azúcares; xilosa y arabinosa tienden a desarrollar color muy rápidamente así como el ácido dehidroascórbico. Además, los disacáridos no reductores pueden ser muy lentamente oscurecidos al principio, pero si se realiza la hidrólisis a monosacáridos reductores reactivos, subsecuentemente puede oscurecerse rápidamente (4).

Los compuestos coloridos formados por este tipo de reacción pueden ser purificados por hidrólisis enzimática o por cromatografía de columna (8).

Figura núm. 2



- Efectos de los sulfitos

Es conocido que los sulfitos causan el decremento en el desarrollo del color en reacciones de oscurecimiento no enzimático, tal vez no se ha apreciado ampliamente de cual es la amplitud de acción de los sulfitos. Las diferencias en la acción de los sulfitos en diferentes reacciones de oscurecimiento no han sido bien entendidas, pero ha habido algunos avances en la apreciación de varias vías en las cuales el sulfito puede ejercer un efecto.

La siguiente tabla representa algunos de estos efectos de los sulfitos (4):

Tabla núm. 3

Efecto de los sulfitos

Substrato	Producto
Azúcar Reductor	Azúcar Hidroxisulfonato
Carbonilo Simple	Carbonil Hidroxisulfonato
Dicarbonilo	Dicarbonil Dihidro Sulfonato
Carbonil Insaturado	Carbonil Sulfonato
Pigmentos (Melanoidinas)	Producto desconocido

Fuente: Brich (4)

El uso de sulfito tiene además una acción de blanqueado, produciendo un almidón con una alta reflectancia (blancura), pero obviamente, la cantidad que se agrega de este producto químico, debe de ser el mínimo, pero que cumpla con los objetivos por los cuales es usado (22)

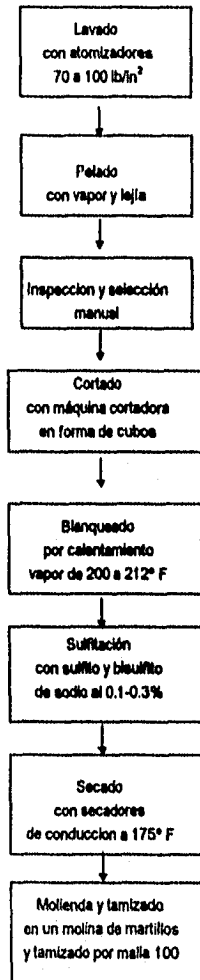
3.2.3 Proceso de obtención tradicional

La harina de papa es la forma comercial mas antigua de la papa procesada y ha sido siempre asociado con el proceso de panificación; en un tiempo, los panaderos pelaban, cocían, y machacaban papas para impartir sabor de papa y retener la frescura del pan.

La manufactura de la harina de papa es básicamente un simple proceso de deshidratación, en el cual las papas cocidas son secadas en tambores y la película fina seca del producto es molida a la finura deseada. El nombre de harina de papa es también dada al producto obtenido por la molienda de papas en cubos deshidratados.

Se han desarrollado otros métodos de secado de material crudo y consiste en lavado de papas, molienda en molino de martillos y secado en un secador de tubo-vapor.

Diagrama de Bloques del proceso tradicional de la harina de papa



- Lavado

Las papas deben ser lavadas para remover la tierra adherida y reducir el número de microorganismos en el material fresco. Para este proceso se pueden usar atomizadores de agua que operan a 70-100 lb. / in.² y que son empleados al volumen proporcional de las papas que fluyen por una banda. Debe hacerse una inspección preliminar inmediatamente después del lavado con el fin de remover papas inadecuadas para el proceso como "verdes", rotas, golpeadas u otro tipo de defectos.

- Pelado

Es preferible un pelado continuo que un pelado por lotes, ya que reduce los costos de empleo. Los tipos de peladores incluyen abrasión, remojo, lejías y vapor. El vapor y la lejía son los principales métodos de pelado usados comercialmente combinándose éstos muchas veces para dar un mejor resultado. El pelado ideal debe de remover solo la piel delgada y no dejar residuos de cáscara y "ojos". Un nuevo método de pelado por lejía esta remplazando rápidamente varios métodos viejos.

- Inspección y selección

Una selección manual es requerida para remover cualquier cáscara residual, ojos, insectos o material verde. Las operaciones de inspección y selección tienen un gran efecto sobre el costo del proceso. Debe darse una atención especial para evitar la demora durante el seleccionamiento y prevenir la oxidación excesiva. Las papas seleccionadas pueden ser pasadas sobre un graduador de tamaño o pueden ser llevadas directamente al siguiente proceso.

- Cortado

Generalmente se usa una máquina cortadora en forma de cubos estándar, la cual puede ser ajustada a cortar una variedad de tamaños. El flujo de papas debe de ser alimentado dentro de la capacidad de la cortadora en forma de cubos; sobrealimentar la máquina puede producir un corte irregular y altas cantidades de piezas con diferente tamaño, las superficies cortadas de los cubos deben de ser pasados a través de una solución para blanquearse.

- Blanqueado

La papa está compuesta de tejido vivo que contiene numerosas enzimas catalíticas que juegan un papel importante en el proceso metabólico de toda materia viva, algunas de estas enzimas causan oscurecimiento de las superficies cortadas expuestas al aire; otras involucradas en la transformación de carbohidratos y también las que causan hidrólisis de grasas o material lipídico en la papa.

La mayoría de estas enzimas pueden ser destruidas o inactivadas por calor u otros métodos; por otro lado, las papas pueden oscurecerse durante el secado y desarrollar malos sabores y olores durante el almacenaje.

Las enzimas responsables de las características adversas son aparentemente inactivadas con una exposición relativamente corta al calor, aunque algunas peroxidases son resistentes al calor.

Los cubos de papa pueden ser blanqueados por calentamiento con vapor o en agua a 200-212 °F., para el blanqueado con vapor, las piezas de papa son calentadas con vapor a presión atmosférica en recipientes revestidos de acero inoxidable.

Llevar el tiempo de blanqueado a un mínimo es importante en la producción de rebanadas de papa y es deseable la reducción del aflojamiento y la exudación de almidón gelatinizado con el propósito de reducir la tendencia de las rebanadas a pegarse durante el secado.

-Sulfitación

El efecto del sulfito en retardar el oscurecimiento no enzimático es bien conocido. La actual Especificación Federal de papas deshidratadas (U.S. Gen. Serv. Administrativos 1989) menciona un mínimo de 300 y un máximo de 600 ppm de sulfito como SO₂ en producto seco.

El sulfito es usualmente aplicado después del blanqueado por atomización o sumergiendo las piezas en una solución de bisulfito de sodio, sulfito de sodio, metabisulfito de sodio o la combinación de las sales, éste puede ser empleado en el agua de blanqueado.

El sulfito aplicado por atomizado en cantidades relativamente largas (en una solución que contenga 0.1-0.3% de una mezcla de sulfito de sodio y bisulfito de sodio 1:1) da un poco mejor protección en el oscurecimiento no enzimático que una pequeña concentración en spray (0.6-1% de sales de sulfito) o gas sulfitado durante el secado.

La sulfitación es definitivamente un auxiliar en la producción, ya que permite el uso de altas temperaturas durante la deshidratación. Los sulfitos o el bióxido de azufre protegen al producto del oscurecimiento no enzimático o chamuscado durante la deshidratación como se ha mencionado, e incrementa la vida de anaquel del producto en condiciones adversas de temperatura.

- Secado

La deshidratación de cubos de papa se ha llevado a cabo con éxito en diferentes tipos de charolas, túneles y secadores de conducción; aunque actualmente, el túnel de secado ha sido el predominante.

El secador de conducción es normalmente usado en etapas en que la temperatura, humedad, volumen y velocidad del aire puede ser variado independientemente en cada etapa, con el fin de obtener una máxima eficiencia en el secado, consistente en la alta calidad del producto.

El curso de la deshidratación comprende esencialmente dos fases, la primera, durante la cual la humedad libre persiste en la superficie cortada de las piezas de papa, y la tasa de evaporación cambia muy poco a medida que el contenido de humedad es reducido, y es comúnmente referido como la fase de Tasa Constante; en la segunda fase hay una difusión de la humedad desde el interior a la superficie de cada pieza, viene a ser el factor limitante en la tasa de secado y es conocida como fase de Tasa de Pérdida.

El tamaño de las piezas tiene un gran efecto en la tasa de secado, entre mas gruesa sea la pieza, menor es la tasa de secado; ésto ha sido una limitante en la expansión del uso de alimentos deshidratados.

Las piezas mas pequeñas son secadas más rápidamente en secadores de conducción a temperaturas progresivamente menores, disminuyendo el rango de 275 a 175 °F. hasta que desarrollan un contenido de humedad del 25-35%, este secado inicial toma cerca de una hora; para llegar a una humedad del 10-15%, requiere de 2 a 3 veces de tiempo a una temperatura de 140-160 °F., y en la etapa final en la fase de tasa de pérdida puede requerir de 4 a 8 horas, dependiendo del contenido de humedad final requerido. Uno de los más importantes procesos bioquímicos que ocurren en la papa es la transformación de los carbohidratos.

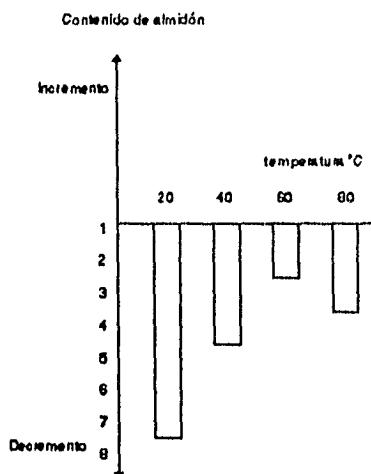
Transformación del almidón <----> azúcar en papas durante el secado.

En un tubérculo, comienza en un estado de reposo, el proceso de transformación de almidón de papa es lento. Este se incrementa con la germinación o bajo la influencia de otros factores: Almacenaje en frío, secado, daño mecánico y radiaciones ionizantes.

La siguiente figura presenta los cambios del contenido de almidón en papas secadas a diferentes temperaturas:(4)

Figura núm. 3

Cambios en el contenido de almidón en papas secadas, expresada en % en relación con el contenido de almidón en el material fresco:



Fuente: Brich (4)

A temperaturas de 60 y 80 °C, los cambios del contenido de almidón en papas secadas en aire no es grande comparado con el contenido de éste en papas frescas (4). En esas condiciones la inactivación de enzimas que descomponen el almidón ocurre fácilmente, y un leve decremento en el contenido de polisacáridos debe resultar de la inactivación de las enzimas en la fase inicial del secado cuando la temperatura está comenzando a elevarse.

- Molienda y tamizado

El producto seco es alimentado a un molino de martillos para producir un polvo que será posteriormente tamizado a la finura deseada.

El proceso de molienda representa tal vez el más crítico en cuanto a la contaminación microbiológica, por lo que los molinos deben de estar perfectamente sanitizados para evitar las contaminaciones.

La harina es pasada por malla 100, mientras que la parte que queda en el tamiz es reciclado y mezclado con las piezas de papa ya molidas para reducir el contenido de humedad del material hasta el punto donde ésta pueda ser manejada por el secador.

3.2.4 Contenido de humedad en el equilibrio y A_w

Los tejidos animales y vegetales contienen agua en diferentes concentraciones, distribuida de una manera muy compleja y heterogénea. Las proteínas, carbohidratos y lípidos,

contribuyen a la formación de complejos hidratados de alto peso molecular dentro de estos tejidos, cuya caracterización y cuantificación en un alimento es demasiado difícil de efectuar (3).

El agua no solo contribuye a las propiedades reológicas y de textura de un alimento a través de su estado físico, sino que sus interacciones con los distintos componentes también determinan el tipo de reacciones químicas que se pueden suscitar en los alimentos.

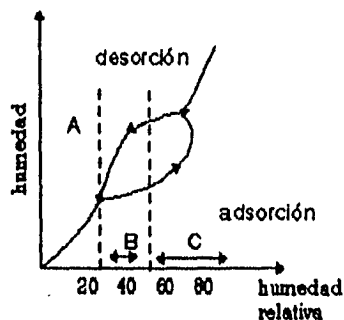
El contenido de humedad en el equilibrio de un material se define como el contenido de humedad que existe cuando el material tiene una presión de vapor en el equilibrio con el medio.

La relación de la presión de vapor en el equilibrio entre la presión de vapor de saturación es conocido como la humedad relativa de equilibrio o A_w , y los valores corresponden a los valores apropiados al contenido de humedad del producto, (15) en otras palabras, este término determina el grado de interacción del agua con los demás constituyentes de los alimentos, y es una medida indirecta del agua disponible para llevar a cabo las diferentes reacciones a las que están sujetos (3).

La actividad de agua o humedad relativa se relaciona con el contenido de agua en el alimento a través de sus correspondientes isotermas de adsorción y desorción. En general, un material orgánico almacenado a una temperatura constante en un cámara de vacío desarrolla una presión de vapor de agua propia y muy característica que depende del contenido original de humedad y de la temperatura.

La relación entre las presiones de vapor del agua desarrollada por el material orgánico y su contenido de humedad en el equilibrio se gráfica en dichas isotermas, como se puede ver en la siguiente figura:

Figura núm. 4



Fuente: Badul (3)

Se puede observar en la curva de adsorción que en las zonas A y B, los cambios pequeños de humedad producen grandes variaciones en la actividad de agua, en la parte final de la curva (zona C) se requiere de modificaciones mayores en la humedad para cambiar ligeramente la actividad de agua del alimento. En la parte inferior de la curva de adsorción se encuentran los alimentos deshidratados y a medida que la humedad aumenta se localizan los alimentos de humedad intermedia y finalmente los últimos.

La magnitud del contenido de humedad en el equilibrio es establecido por la estructura del material y la manera en el cual el agua es retenida o ligada por el producto. La mayoría de

los materiales biológicos, incluyendo los productos alimenticios, tienen moléculas de humedad adsorbidas en el interior de las paredes de los poros capilares (15).

El deterioro de las grasas a través de su oxidación se produce en alimentos deshidratados con una actividad de agua muy baja, y a medida que aumenta, se inducen las reacciones enzimáticas, hidrolíticas y las de oscurecimiento no enzimático, y se favorece el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras.

A una temperatura de almacenamiento de 20 °C., la harina de papa puede ser estable durante largos períodos si su actividad de agua varía entre 0.4 y 0.5 (16).

3.2.5 Utilización de la harina de papa como sustituto de algunos cereales.

Tradicionalmente los cereales han ocupado un lugar preponderante en la composición de la dieta de los latinoamericanos, contribuyendo en forma significativa a la ingesta proteica y calórica. El pan es uno de los derivados más importantes y de mayor consumo, sin embargo, muchos países latinoamericanos deben importar aproximadamente el 35% de las necesidades de trigo, por lo que la harina de papa parece ser uno de los sustitutos adecuados por las condiciones adecuadas de cultivo que ofrece. Se han hecho estudios donde se ha determinado las diferencias en sabor, calidad organoléptica y preferencia que pudiera originar la sustitución de harina de papa por harina de trigo en distintos niveles en la elaboración habitual del pan.

Las papas están constituidas entre otras cosas de almidón y minerales esenciales que estimulan el crecimiento de las levaduras, soportando la actividad de fermentación de la levadura y una evolución vigorosa del CO₂; éstos efectos son necesarios para producir la porosidad y textura del pan.

La harina de papa es usada como mejorante en pastelería, y como iniciador de fermentación en masas y mezclas para pan. Resultados de laboratorio han indicado que la frescura, color de la corteza, volumen, textura, sabor y calidad comestible de panes tipo standard se han mejorado cuando se incluye un 5% de harina de papa o más en la formulación.

La evaluación organoléptica de panes elaborados con niveles de sustitución del 2, 4, 6, 8 y 10 % de harina de papa no mostró diferencias significativas en cuanto a sabor al comparar éste con una muestra testigo. La harina de papa disfruta de un extenso uso como harina para empanizar pollo congelado o productos del mar.

Muchos otros productos contienen harina de papa, como sopas deshidratadas, pastas para pay, alimento para animales pequeños y otros, donde la harina es usada como una combinación de agente engrosante harinero como en gulsos, salsas y alimentos para bebés (14).

No solo el aspecto del pan y sus características sensoriales son importantes, sino también los aspectos nutricional y reológico. Se hizo un estudio, en donde se elaboraron panes con concentraciones del 0, 2, 4, 8, 8, 10 y 15 % de harina de papa.

El método biológico para determinar la calidad de la proteína fue el PER, y por el lado reológico se usó el farinógrafo. Los resultados del farinograma demuestran que el tiempo de desarrollo de la masa decrece con la adición de harina de papa.

La evaluación de la proteína en ratas muestra que el incremento del peso fue similar en todos los grupos. El valor del PER control fue de 0.97, la sustitución del trigo por harina de papa no modificó este parámetro hasta un nivel de sustitución del 8%, por lo que se concluye que no se ve afectada la calidad de la proteína por la sustitución de harina de trigo por la de papa (52).

No solo se han sustituido panes con harina de papa, sino se han buscado otros productos, como es el caso de las tortillas, pues en México en 1981 se produjeron 10,200,000 toneladas de maíz, de las cuales el 72% va destinado a la elaboración de tortillas.

Una sustitución hasta del 36% de papa mejora la textura, produciendo una tortilla más blanda y flexible.

3.2.8 Otros productos derivados de papa

Capulios de papa.- Otra forma de papas molidas deshidratadas de baja densidad son los gránulos aglomerados o pepitas. La papa libre de daños en una solución del 15-18% de sólidos preparada con papas cocidas o como gránulos es homogeneizada hasta obtener una espuma estable. La espuma es extruida a través de pequeños orificios dentro de una cama fluidizada hasta llegar al 10% de humedad a 140-160 °F. Los gránulos toman una forma de un hueco ligero (9).

Hojuelas de papa.- Aunque el secado por tambores de papas cocidas se conoce desde los 50's para preparar harina de papa, nunca se había usado para producir un producto capaz de reconstituirse con la consistencia comparable con la del puré preparado con papas frescas.

Espojas deshidratadas de papa.- El método de secado por charolas para la deshidratación de cubos de papa puede usarse en la manufactura de éste producto, el cual puede convertirse rápidamente en un puré, con el simple hecho de agregar agua caliente, para preparar sopas, picadillos etc.

Buñuelos de papa.- Un bocadillo con forma de píldora, libre de grasa y con una atractiva textura de "crunch" se prepara tratando las piezas de papa de 1/8 in, blanqueadas en agua caliente con sal durante 15 a 60 seg. con vapor caliente en forma vertical para expandir la pieza, luego se secan con aire caliente. Una variedad de sabores puede ser fácilmente adicionado como queso o cebolla.

Nueces de papa.- Las piezas de papa con un tamaño de 3/8 x 3/8 x 1/4 in. son inicialmente deshidratadas hasta un 12% de humedad, luego son freidas en aceite para dar al final un producto que contenga un 20% de grasa (9).

3.3 Almidón

El almidón se encuentra extensamente distribuido en forma natural como carbohidrato de reserva en plantas, formado por la polimerización de monosacáridos provenientes de la fotosíntesis (12).

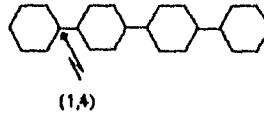
3.3.1 Estructura.

Las primeras investigaciones hechas para descubrir la estructura molecular del almidón fueron realizadas por Saussure, haciendo una hidrólisis del almidón con ácido sulfúrico diluido encontrando como principal monosacárido la glucosa; también encontró que la hidrólisis de 100 partes de almidón daban 110 partes de monosacáridos, por lo que la fórmula molecular posible era $(C_6H_{10}O_5)_x$ (49).

La polimerización natural del almidón sigue 2 rutas:

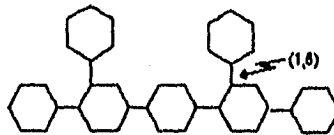
En su forma simple, denominada amilosa, el monosacárido (unidades de glucosa anhidra) está unida por enlaces 1-4, dando una fracción típicamente lineal, como la siguiente:

Figura núm. 5



La segunda y más ramificada estructura está formada por enlaces 1-6 en adición a los enlaces 1-4, ésta fracción es denominada amilopectina, que tiene la siguiente estructura:

Figura núm. 6



La proporción de amilosa : amilopectina difiere de acuerdo a la especie botánica y es determinante en las propiedades de las pastas de almidón, como podemos ver en la siguiente tabla:

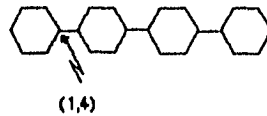
Tabla núm. 4

Contenido de Amilosa : Amilopectina en algunos almidones nativos comunes.

Fuente	% Amilosa	% Amilopectina
Maíz	26	74
Trigo	25	75
Arroz	17	83
Maíz Ceroso	1	99
Papa	24	76
Tapioca	17	83

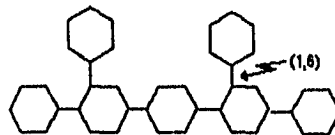
Fuente: Fawcett, P. (12).

Figura núm. 5



La segunda y más ramificada estructura está formada por enlaces 1-6 en adición a los enlaces 1-4, ésta fracción es denominada amilopectina, que tiene la siguiente estructura:

Figura núm. 6



La proporción de amilosa : amilopectina difiere de acuerdo a la especie botánica y es determinante en las propiedades de las pastas de almidón, como podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla núm. 4

Contenido de Amilosa : Amilopectina en algunos almidones nativos comunes.

Fuente	% Amilosa	% Amilopectina
Maíz	26	74
Trigo	25	75
Arroz	17	83
Maíz Ceroso	1	99
Papa	24	76
Tapioca	17	83

Fuente: Fawcett, P. (12).

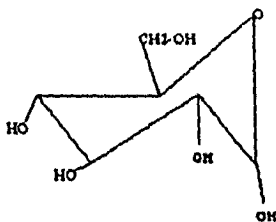
- Amilosa.

El almidón es encontrado naturalmente en 3 modificaciones cristalinas designadas A (cereales), B (tubérculos) y C (leguminosas). El almidón precipita en solución o acompañado con algunas moléculas orgánicas adoptando la llamada estructura V. La amilosa existe en las estructuras A, B, C y V.

Las investigaciones realizadas sugieren que la estructura encontrada de amilosa en estado sólido tiene una conformación de anillos de α -D glucopiranosil que existen en forma polimérica.

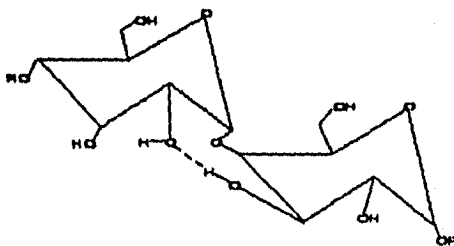
Trabajos recientes proponen que la amilosa (y amilopectina) contienen unidades de α -D glucopiranosil en la conformación de mínima energía $4C_1$, como se ve a continuación (49).

Figura núm. 7



Estudios con infrarrojo demostraron que existen enlaces de hidrógeno entre el grupo hidroxil del C-2 de una unidad α -D glucopiranosil y el grupo hidroxil del C-3 de la unidad adyacente de α -D glucopiranosil, donde el grupo hidroxilo del C-3 dona el átomo de hidrógeno en el enlace de hidrógeno.

Figura núm. 8



La configuración de la amilosa en solución ha sido controversia por muchos años, se han propuesto 3 estructuras: helicoidal (i), hélice interrumpida (ii) y espiral desordenada (iii):

Figura núm. 9



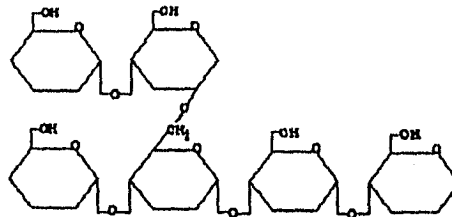
- Amilopectina.

La diferencia en la estructura de la amilosa y la amilopectina fue descubierta por diferencias químicas y físicas entre éstas.

Por estudios hechos en almidón se vio que la amilopectina era una cadena lineal y Frandenberg asignó como punto de unión el carbono 6 en algunas unidades de α -D-glucopiranosil.

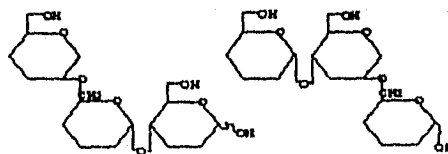
Si la amilopectina es una cadena lineal (1 - 4) α -D glucan con enlaces en C-6, entonces la estructura propuesta es la siguiente:

Figura núm. 10



Las estructuras encontradas por la hidrólisis de la amilopectina son la Panosa y la Isopanosa, estructuras que se dan a continuación:

Figura núm. 11

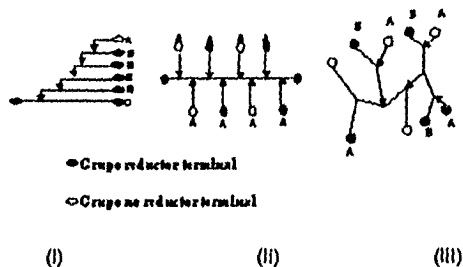


Panosa

Isopanosa

Muchos modelos han sido propuestos para entender el comportamiento fisicoquímico de la amilopeptina, el más antiguo es el laminado (I) y el llamado "hueso de pescado" (II); mas tarde se propuso la estructura de entramado casual (III). Estos modelos se muestran en la siguiente figura.

Figura núm. 12



Por definición, las cadenas A son aquellas que están ligadas con el resto de la molécula solo a través de grupos reductores terminales, y las cadenas B son aquellas que están ligadas a la molécula a través de grupos reductores terminales pero, en adición, están unidas en la posición C-6 en uno o más residuos de D-glucopiranosil, y la cadena C es aquella que lleva el grupo reductor terminal (49).

El comportamiento de la gelatinización del almidón sobre un rango de concentraciones y de diferentes especies botánicas puede ser interpretado en términos de un modelo compuesto, en el cual ambos, la amilosa solubilizada durante la gelatinización y el hinchamiento de los gránulos contribuyen a una pequeña deformación del comportamiento mecánico de las pastas.

Se ha observado que a mayor concentración de almidón, el módulo de corte (N/m^2) es mayor.

También según la variedad, varía el módulo de corte, pues a mayor concentración de amilosa, mayor es el módulo de corte, en el orden de papa < trigo < maíz < chícharos (33).

3.3.2 Funcionalidad.

La naturaleza ha escogido los gránulos de almidón como forma natural de empaque y almacenamiento de carbohidratos en plantas verdes. En forma de gránulo, el almidón es casi cristalino, insoluble en agua y denso, es hidratable solo en pequeño grado. El almidón insoluble es fácilmente convertido en azúcar por enzimas del metabolismo de las plantas.

El rango del tamaño del almidón puede ser desde longitudes sub-micróit de cloroplastos hasta relativamente enormes (Frecuentemente arriba de 100 micrómetros) gránulos ovalados (49).

Como se ha mencionado, el almidón es insoluble en agua fría, pero cuando se calienta los gránulos se hinchan y forman pastas, esto ocurre cuando la energía puesta dentro del sistema es suficiente para desordenar algunos enlaces de hidrógeno y permiten la penetración de agua en las regiones intermicelares del gránulo.

La gelatinización ocurre sobre un rango de temperatura el cual varía ligeramente de acuerdo al origen del almidón.

La pasta de almidón caliente es una masa viscosa con un determinado grado de opacidad, cuando ésta se enfría se incrementa la opacidad y la pasta se vuelve considerablemente rígida, la pasta se agrieta, efecto que puede pronunciarse con el tiempo, y se le conoce como retrogradación.

La fracción de amilopectina no está totalmente libre de la retrogradación, pero su estructura ramificada disminuye la intensidad y usualmente puede ser reversible. La textura de las pastas es tan extensa como su origen botánico, en esto, los almidones de raíces dan pastas de alta viscosidad.

Las pastas de almidón son susceptibles a la pérdida de viscosidad cuando son sometidas a efectos mecánicos.

La disminución de la viscosidad se da cuando el efecto de debilitamiento sobre la estructura interna del gránulo hinchado, aumenta hasta una reacción de hidrólisis extensiva.

- Interacción del almidón con otros componentes en sistemas alimenticios.

El almidón contribuye grandemente a las propiedades de textura de muchos alimentos, y los cambios que éstos soportan durante el procesamiento de los alimentos son influenciados entre otras cosas, por el origen botánico y las modificaciones químicas y físicas del almidón.

El agua tiene uno de los efectos más directos sobre el almidón que cualquier otro ingrediente, y éste varía de acuerdo con la cantidad de agua presente en el almidón. El agua está involucrada en el enrañamiento de los almidones. Algunas investigaciones asumen que la amilosa es la causa de que se enrañe el almidón, debido a su tendencia a retrogradarse.

Sobre el efecto de los surfactantes, primero se sabe que con largas cadenas de ácidos grasos puede formar complejos helicoidales con la amilosa, segundo, se sabe que cuando la cadena lineal del hidrocarburo es mayor o igual a 16 carbonos, generalmente dilata el hinchamiento de los gránulos de almidón (34). También se ha observado una reducción en la rigidez del gel, éste efecto viene dependiendo de la concentración del lípido y de la cadena acil del lípido.

Una transición conformacional de las moléculas de amilosa ha sido demostrada sobre cierto rango de la concentración de lípidos y ésta transición es puesta en primer término como el factor de contribución en el decremento de la rigidez del gel de amilopectina cuando el lípido es adicionado (35).

Diferentes tipos de azúcares tienen efecto en la temperatura y tiempo de gelatinización, esto se demostró en gráficas de tiempo vs viscosidad con harina de trigo, donde por ejemplo, la que tiene un menor efecto es la fructosa y un mayor efecto la sacarosa.

Se ha observado que agregando sales de sodio en una concentración de 1.0 N, la viscosidad es aumentada.

Muchos de los hidrocoloides naturales y sintéticos usados en la industria alimentaria para modificar y dar las características de textura y fluidez de los productos alimenticios son eficientes como espesantes y el resultado de las soluciones o suspensiones muestran propiedades pseudoplásticas y ocasionalmente tixotrópicas.

En la frecuente demanda de las industrias alimentarias es importante conocer el rango y diversidad de los almidones modificados actualmente comercializados. El mejor camino a seguir puede ser la combinación de los almidones existentes con otros hidrocoloides estabilizados, siendo de vital importancia el conocimiento de las propiedades de los fluidos (34).

3.3.3 Origen del almidón

El almidón se sintetiza en plantas y se encuentra generalmente en semillas o raíces, cada almidón tiene diferentes características de acuerdo a su origen, a continuación se mencionan algunas características encontradas por microfotografía de los almidones más importantes: (22)

- De maíz.- Está compuesto de gránulos de dos formas, dependiendo si son derivadas de la corona o región harinosa de granos de maíz ordinarios o de la porción cómea del endospermo.

Algunas especies como son la del tipo harinosa contienen prácticamente todos los gránulos de forma redonda. Las especies córneas contienen prácticamente gránulos en forma poligonal. Cada tipo de muestra varía en tamaño, pero en promedio son ambas de 15 μ .

La composición de los gránulos es extremadamente rara, cuando se observan frescos exhiben un largo hilo circular, pero ya seco y molido muestra una cavidad en vez de hilo, con fisuras radiadas.

- De tapioca.- Los gránulos tienen una apariencia característica siendo ovalados o redondos con una muesca en uno de los lados, la cual es característica de este almidón. El hilo es centrado con algunas fisuras, no se ven estrías. El tamaño del gránulo varía de 5 a 35 μ , con un promedio de 20 μ .

- De papa.- Los gránulos de almidón de papa varían grandemente en tamaño, pues van de 15 a 100 μ . Los gránulos grandes tienen forma de huevo, y debido a que presentan estrías concéntricas pronunciadas tienen apariencia de conchas de ostra. Los gránulos pequeños representan etapas tempranas del desarrollo, son de forma redonda u ovaladas con débiles estrías e hilos.

- De trigo.- Los gránulos de almidón de trigo son de 2 formas, largos o cortos, con pocos gránulos de tamaño intermedio. Estos gránulos son delgados y de forma elíptica o redonda con estría no distinguible. Un centro hilado débil puede distinguirse en los gránulos largos (de 20 a 35 μ) mientras que los gránulos pequeños (2 a 10 μ) no muestran hilo.

- De sagú.- Este tipo de almidón entra en el grupo de los almidones con gránulos largos. Los gránulos varían de 20 a 60 μ , son ovalados o con forma de huevo. Se han identificado en los gránulos de sagú y arrumuz gránulos con forma de bolsa con contorno liso en la gelatinización. Se distinguen ambos por que el sagú en el estado cercano al hinchamiento siempre exhibe una forma bien definida, como un cráter abierto en el final del gránulo.

- De arrumuz.- El promedio del tamaño y la forma de los gránulos de arrumuz es similar a los del sagú, pero varía de acuerdo al origen. Las estrías son usualmente débiles y concéntricas, con un hilo centrado.

- De arroz.- Los gránulos son los más pequeños de los almidones comerciales, el tamaño va de 3 a 8 μ . Su forma es definitivamente poligonal y a veces en forma de panal en racimos. Por su tamaño tan pequeño no se pueden ver sus características de fisura, hilo y estrías.

- De sorgo ceroso.- El tamaño y la forma del gránulo de almidón de sorgo ceroso es muy similar al del maíz y al del maíz ceroso. El promedio del tamaño es de 15 μ , con extremos de 6 y 30 μ , el hilo es céntrico y distintivo con fisuras radiales. El almidón puede distinguirse del almidón de sorgo común por la formación de color café rojizo al reaccionar con yodo.

- De camote.- La forma más común del almidón de camote es la de gránulos poligonales, con la predominancia de gránulos pequeños con un tamaño de 10 a 25 μ . El hilo es centrado y distintivo, pero las estrías son débiles.

- De cebada.- Generalmente el almidón de cebada es encontrado como una mezcla de gránulos grandes y muy pequeños, son de forma redonda o elíptica y miden de 20 a 35 μ para los grandes y de 2 a 6 μ para los pequeños. El hilo, fisura y estrías son indistintos.

- De maíz ceroso.- Tienen una apariencia similar a la del maíz común con respecto al tamaño, forma y características marcadas. El rango de tamaño es desde 5 a 25 μ , con un distintivo hilo en el centro. Similar al sorgo ceroso, el maíz ceroso es distinguido del maíz común por la coloración café rojiza al reaccionar con yodo (22).

3.3.4 Gelatinización

El gránulo de almidón, en presencia de agua fría, se hincha y aumenta ligeramente de tamaño, lo cual solo se puede observar al microscopio.(3) Cuando una suspensión de gránulos de almidón es calentado progresivamente en agua a una cierta temperatura (mayor de 50-55 °C.), los gránulos se hinchan irreversiblemente (se puede apreciar a simple vista) y las propiedades birrefringentes del gránulo se pierden, ocurriendo cambios marcados pasando de una suspensión de gránulos a una solución de gránulos hinchados(6), éste proceso es conocido como gelatinización, y proplamente es el rompimiento Irreversible en el orden y cristalinidad de las moléculas dentro del gránulo y las fuerzas de enjaces pueden ser medidas por Análisis Diferencial Calorimétrico.(4). La temperatura a la que se pierde la birrefringencia y se produce el máximo hinchamiento de los gránulos de almidón se llama temperatura de Gelatinización.(3) Un calentamiento mas allá de la temperatura de gelatinización causa gran hinchamiento en un patrón característico de cada tipo de almidón (4).

Tabla núm. 5

Especie Rango de temperatura
de gelatinización (° C.)

Maíz	62-72
Trigo	52-63
Arroz	61-78
Maíz ceroso	63-72
Papa	56-66
Yuca	58-70

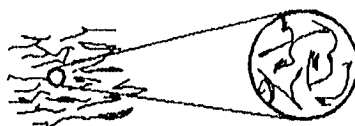
Fuente: Kerr (22).

El proceso de hinchamiento se ha seguido en diferentes tipos de almidón. Se ha observado que los almidones de mayor cantidad de amilopectina y menor de amilosa tienen un mayor poder de gelatinización. Cuando el contenido de amilosa aumenta, las fuerzas de retención de las moléculas dentro del gránulo aumentan. (4)

El proceso también puede ser descrito como la fusión de los cristales de almidón, por lo que puede ser tratado por un análisis Termodinámico (39).

La figura 13 indica esquemáticamente la absorción del agua por el almidón, en la que las zonas cristalinas del gránulo están representadas por las líneas mas intensas, que reciben el nombre de micelas. Cada almidón tiene un distinto grado de cristalización y por lo tanto se hincha y gelatiniza en distintas condiciones de temperatura (3).

Figura núm. 13



almidón natural
sin hinchamiento

almidón hinchado

Fuente: Salvador Badul (3).

- Determinantes físicas y químicas de las características de un gel.

Los geles son comúnmente observados como sistemas de dos fases con un alto grado de interfase entre un sistema continuo de material sólido reteniendo una fase acuosa, la cual puede ser también continua o finamente dispersa. El material sólido es usualmente considerado de una forma como fibrilar y puede consistir en ambas, de moléculas fuertemente solvatadas, como proteínas o cristales filiformes.

Los componentes fibrilares de los geles son enlazados por fuerzas, las cuales son usualmente débiles, como son los enlaces de hidrógeno. Estos enlaces pueden ser destruidos o rotos por fuerzas aplicadas a las masas de un gel, cuando son rotos, éstos pueden restablecerse a otras posiciones con moléculas vecinas.

La cantidad de agua o de otro solvente presente en un gel es indefinida. Si el gel es puesto en un exceso de solvente, éste va a hincharse hasta que se forme un sol; por el otro lado, el solvente puede ser removido por métodos térmicos o por la aplicación de presión. Las fuerzas requeridas para exprimir el agua fuera de los geles es generalmente poco grande. Como siempre, los solventes son frecuente y espontáneamente expulsados cuando pasa el tiempo.

Este proceso llamado sinéresis es evidentemente debido a la formación de enlaces adicionales intermoleculares con la consecuente reducción en el número de enlaces en los cuales las moléculas del solvente pueden enlazarse y con el decremento en las dimensiones de los espacios intermoleculares en los cuales los solventes son contenidos (26).

- El Enlace de hidrógeno en el almidón es la base para la interpretación en su comportamiento y reactividad.

Está hoy bien establecido por experimentos, que el hidrógeno puede actuar como un enlace entre átomos fuertemente electronegativos como flúor, oxígeno y nitrógeno y un menor efecto en condiciones especiales entre átomos débilmente electronegativo como litio y carbono, el vínculo es expresado como:



La asociación de compuestos hidroxilados a través de enlaces de hidrógeno está ahora bien establecido a través de varios métodos físicos, entre los cuales, los estudios espectrofotométricos en la región del infrarrojo son muy importantes.

Un intento será seguir el comportamiento del almidón en dispersiones acuosas, ya que este es su mas característico y comercial estado de uso, y postular la asociación de las cadenas a través del enlace de hidrógeno. En la figura A, la asociación de dos moléculas de almidón en

ausencia de agua y en la figura B la asociación a través del agua es indicada esquemáticamente.

Figura núm. 14

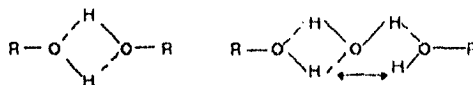


Figura A

Figura B

Forma Inactiva

Forma Activa

La asociación (figura A) es del tipo ahora reconocido para muchos ácidos carboxílicos. En un compuesto polihidroxlado como el almidón, en el arreglo puede obviamente ser esperada la reducción de la actividad de los grupos hidroxilo.

Nos permite considerar lo que ocurre al almidón que es completamente retrogradado, éste se convierte relativamente Indesposable (o Insoluble) en agua. En los secados drásticos hay evidencia de que mas agua es perdida de la que aparentemente está en forma natural, y en la retrogradación hay también evidencia que el agua Intramolecular es eliminada.

En ambos de estos procesos podemos esperar el arreglo Interno con el fin de aprovechar una asociación del tipo de la figura A, en la cual los grupos OH vecinos son directamente asociados o son enlazados uno al otro, con la consecuente reducción de la reactividad de los grupos OH. En el tipo de la figura B, que puede ser designado como el estado normal del almidón, los grupos OH vecinos son enlazados a través de una o más moléculas de agua las cuales esperan separadas y dan a éstos mas reactividad.

En la suposición de la asociación a través de los enlaces de hidrógeno, podemos esperar la fácil expulsión de agua a ser desatado el enlace al exterior de las micelas y el enlace a ser enlazado mas o menos Intermicelamente como en la figura B.

- Hidratación, gelatinización y gelación en términos de los cambios en enlaces de Hidrógeno.

La hidratación o gelatinización del almidón esta caracterizado Inicialmente por el hinchamiento de los gránulos empaçados, subsecuentemente por la ruptura y dispersión de estos paquetes hinchados; el grado de ruptura y la dispersión, varía enormemente y casi siempre exhibe marcada heterogeneidad.

Considerando las características del fenómeno de hinchamiento del almidón en medio acuoso, esto se observo, primero que todo, que es ocasionado por el calentamiento de agua o por disolución de ciertas sustancias en una suspensión de almidón en agua fría. El almidón se hincha lentamente y muy Ilimitado en agua fría.

El probable mecanismo son el cual se explica la Inicial hidratación del almidón es sugerida en los recientes trabajos de Buswell, en el efecto de iones en los enlaces coordinados del agua. La asociación del agua (a través de enlaces de hidrógeno) fue estudiada por medio de absorción de infrarrojo, de los resultados encontrados, las Indicaciones son que la estructura coordinada del agua es al menos en parte destruida por concentraciones 4M de sales de la serie litotrópica, entre otras ciertas sales y los álcalis cáusticos es conocido que son mas o menos efectivos agentes de hinchamiento del almidón en medio acuoso. Si estos agentes actúan esencialmente para destruir la asociación de las moléculas de agua, reduciendo el estado de agregación de las moléculas, se espera que el poder de penetración del agua puede

Incrementarse y consecuentemente es habilitado a ser "disponible" y el engrosamiento de los paquetes aglomerados de las moléculas de almidón puede ser incrementado.

Se sabe que el enlace $H - O \cdots H$ es roto también por calor, ya que en el agua caliente está menos asociado que en el agua fría, por lo tanto la gelatinización (hidratación) del almidón es iniciada por la mayor actividad de las moléculas disociadas de agua. Es también posible que los mismos agentes que debiliten el enlace de hidrógeno entre las moléculas de agua también debiliten los enlaces de hidrógeno a través de los cuales las moléculas de almidón son orientadas en el gránulo original (22).

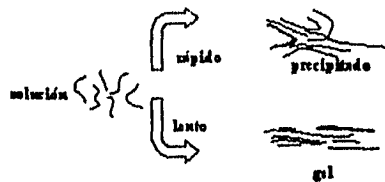
3.3.5 Retrogradación.

El término retrogradación ha sido usado en el campo del almidón por mas de 60 años para describir el proceso por el cual el almidón disuelto o en su estado hidratado se convierte en una forma insoluble en agua.

El fenómeno de retrogradación se define como la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa, debido a que las cadenas lineales se orientan paralelamente e interactúan entre ellas por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples oxhidrilos. La retrogradación puede seguir dos rutas diferentes que dependen de la concentración y de la manera de enfriamiento de la dispersión de almidón (3).

Una solución concentrada de almidón forma un gel rígido irreversible cuando se enfría rápidamente hasta alcanzar la temperatura ambiente o bien las soluciones diluidas, al enfriarse se vuelven opacas y forman precipitados cuando se deja reposar y enfriar lentamente como podemos ver en la siguiente figura (3).

Figura núm. 15



Fuente: Samuel Matz (26)

La retrogradación del almidón es como la retrogradación de la amilosa, por lo que la estructura consiste en cadenas paralelas de amilosa las cuales están interactuando por fuertes fuerzas secundarias, presumiblemente por enlaces de hidrógeno. El acto de retrogradación puede involucrar interacción entre moléculas vecinas, uniones mutuas, expulsión de agua y la formación de nuevas fuerzas intermoleculares. El proceso es muy complejo y se consideran muchos factores que pueden afectar el grado de retrogradación (49).

El primer factor importante es el peso molecular de la amilosa, se han hecho experimentos comunes en que muestras de amilosa preparada de almidón de maíz comercial retrogradan mucho más rápido que amilosa de papa preparada en forma similar (49).

También se sabe que la amilosa preparada del almidón de maíz tiene relativamente menor peso molecular que la amilosa de papa, y se ha concluido que el tiempo requerido para desarrollar cualquier grado de retrogradación, con cualquier preparación de amilopectina en particular, depende inversamente de aproximadamente el cuadrado de la concentración de amilosa (49).

La retrogradación de la amilopectina se presenta cuando las soluciones de esta, se congelan y descongelan continuamente (3).

- Cambios ocurridos durante la retrogradación.

Un indicador temprano de la retrogradación es el incremento de la resistencia del almidón a la hidrólisis por enzimas amilolíticas. La retrogradación ha sido también medida por la caída de la capacidad de fermentar del almidón con diastasa. (40)

Otro cambio que puede ser observado en una solución de almidón vieja es el decremento en la transmisión de la luz de las soluciones, este cambio no es sensible en las etapas tempranas como los cambios de la hidrólisis enzimática, pero puede ser usado para seguir el progreso de la retrogradación por largos períodos de tiempo. Un marcado rasgo físico en los geles envejecidos es el progresivo incremento en la firmeza del gel.

El almidón retrogradado pierde su capacidad de formar el complejo azul con el yodo, se cree que con el envejecimiento, las moléculas de amilosa regresan a una forma helicoidal con una configuración mas amplia la cual es incapaz de formar complejo con el yodo (40).

- Factores que afectan la retrogradación

Se sabe que los cereales normalmente retrogradan mas rápidamente que los almidones de los tubérculos, esto es debido a que los tubérculos tienen mayor concentración de amilopectina. Por otro lado, las moléculas lineales de amilosa se asocian muy fácilmente, por lo cual retrogradan mas rápidamente.

En mezclas artificiales de amilosa y amilopectina, la retrogradación de la amilosa es retardada, como se aprecia en la siguiente tabla, por la presencia de amilopectina:

Tabla núm. 6

Mezcla		% Retrogradación
Amilosa %	Amilopectina %	
90	10	90
75	25	65
50	50	40

Fuente: Kerr (22).

La amilosa de diferentes tipos de almidón retrograda a distintas tasas, esto puede ser debido a las diferencias del peso molecular que existen entre ellas.

La temperatura tiene un marcado efecto en la tasa de retrogradación, a muy altas temperaturas, el efecto en el desorden del movimiento Browniano de macromoléculas es mas intenso para que la asociación tome lugar, y a temperaturas mucho menores, el movimiento de las moléculas de almidón es tan lento que la asociación molecular casi se detiene.

La tasa de retrogradación aumenta con el incremento de la concentración de almidón, por que un menor hinchamiento y una desorientación molecular ocurre cuando el contenido de almidón aumenta, y en consecuencia, la recristalización toma lugar mas rápidamente.

Se ha encontrado que pequeñas concentraciones de ácidos fuertes, incluyendo sulfúrico y ácido clorhídrico incrementan la tasa de retrogradación.

- Naturaleza física de la retrogradación

Como ya se ha dicho, la retrogradación involucra un cambio espontáneo hacia un arreglo cristalino, en un momento esto puede ser tomado a que es debido a la pérdida de humedad.

Esto puede contribuir para el fenómeno de retrogradación, pero muchos cambios, como que 19 veces es incrementada la rigidez del gel del almidón durante 20 horas, no puede ser

explicado solamente por la pérdida de humedad, al parecer, las pastas frescas preparadas o el gel es termodinámicamente inestable, y que la tendencia del almidón a asociarse o parcialmente a cristalizarse es enteramente espontáneo (22).

Se han sugerido que la retrogradación de la amilosa se lleva a cabo en tres fases:

a) El estiramiento de la cadena debida al rompimiento de los enlaces intramoleculares que mantienen la configuración helicoidal.

b) Pérdida limitada del agua, seguida por una adecuada reorientación de las moléculas.

c) Formación de enlaces de hidrógeno entre las moléculas adyacentes.

Las dos primeras etapas requieren energía, pero ésta es mas que compensada por la recuperación de ésta en el tercer paso, por lo que el proceso en balance es exotérmico (40).

3.3.6 Almidones modificados. Producción y usos

El almidón es usado en la industria alimentaria en un gran número de formas, pero debemos enfocarnos a sus propiedades coloidales. Si se examina la aplicación del almidón como aditivo en alimentos, encontramos que su mayor uso es como espesante(40).

Por años, los almidones nativos han sido usados en sistemas de alimentos en un grado limitado y las restricciones de estos usos son impuestos por las propiedades de los almidones.

Para expandir los usos de los almidones, la industria ha hecho uso de una variedad de técnicas de modificación de las características, las cuales gobiernan las propiedades del almidón.

Muchos derivados de almidón involucran la introducción de niveles relativamente pequeños de grupos sustituyentes, a través de la interacción de grupos hidroxilos de las moléculas con químicos capaces de reaccionar bajo condiciones relativamente moderadas (51).

El nivel de sustitución de los derivados de almidón usados en la industria alimentaria es bajo, el D.S. o grado de sustitución está entre 0.2 a 0.0001 o menos (D.S. es definido como las moles sustituyentes por mol de almidón), a continuación se mencionan algunos almidones modificados, su preparación y sus usos:(51)

- Almidones hipoclorito oxidados

Aunque muchos reactivos oxidan al almidón el hipoclorito alcalino es el más usado comercialmente. El agente oxidante es preparado en un sitio por difusión de Cl_2 en una solución diluida de NaOH, enfriada por debajo de los 4° C.



Fuente: Wurzburg (51)

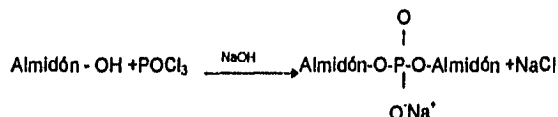
Los almidones oxidados gelatinizan a menores temperaturas que su respectivo almidón nativo, dando dispersiones de gran claridad, por lo que las pastas son mas fluidas.

La mayoría de los almidones oxidados son usados en la industria papelera, como agentes ligantes de revestimiento del papel, donde por su alta fluidez, buen poder ligante y propiedades adhesivas lo hacen efectivo en pigmentos de revestimientos de color con alto contenido de sólidos.

Grandes cantidades de almidones oxidados son usados en el sellado de poros de papel y cartón, también para impartir fuerza a la superficie y dar extensión a tintas de impresión. También puede ser usado particularmente con algodón en fábricas de impresión, donde no se obtienen colores opacos, aunque las telas presenten poca opacidad.

- Almidón de enlaces cruzado

Cuando el almidón es tratado con reactivos multifuncionales ocurre el cruzamiento de enlaces. Los reactivos introducen enlaces cruzados en las moléculas, esto incrementa el peso molecular promedio. El reactivo se agrega a una suspensión alcalina de almidón a una temperatura de 20-50°C. El almidón es recuperado por filtración, lavado y secado.



Fuente: Wurzburg (51)

Los almidones de enlaces cruzados son usados cuando se necesita una pasta de alta viscosidad y estable, y particularmente cuando la dispersión va a ser sujeta a altas temperaturas, pH bajos. Por su resistencia a condiciones rigurosas son requeridas, altas cantidades de éstos almidones.

Almidones alimentarios, especialmente los hechos de maíz ceroso, papa y tapioca son sometidos al tratamiento para dar almidones de enlaces cruzados para dar productos de gelatinización apropiada, viscosidad y propiedades de textura, incluyendo una pequeña consistencia como de pomada.

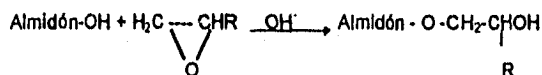
Los almidones de enlaces cruzados son también necesarios para ensaladas, ya que dan un espesamiento sin que haya una pérdida de la viscosidad debido a los pH bajos y a la alta "tasa de corte" durante el proceso de homogeneización. También se usa en sopas enlatadas, salsas, alimentos para bebé, crema de maíz, pastas de relleno de pays, pudines y mezclas para ballar.

En la industria no alimentaria son usados en pastas de impresión textiles alcalinas las cuales contribuyen con su alta viscosidad y poder no cohesivo necesario, es usado en adhesivos de conchados para dar alta viscosidad bajo condiciones de álcalis fuertes.

También son usados donde no debe haber gelatinización por la exposición de altas temperaturas, como las de esterilización, soluciones de álcalis fuertes u otras condiciones en la que la gelatinización puede ocurrir normalmente.

- Esteres de almidón

La reacción con óxido alcalino es usualmente preparado en una suspensión de almidón al 40-45% en agua bajo condiciones fuertemente alcalinas por encima de los 50°C.



Fuente: Wurzburg (51)

Los ésteres de almidón de valor comercial son aquellos que dan estabilidad a soles y propiedades funcionales como carácter hidrofóbico, catiónico o aniónico a un costo relativamente bajo. Frecuentemente estos ésteres son acetilados, con el fin de prevenir o minimizar la asociación de ramas externas de la amilopectina.

- Hidroxialquil almidones

Pueden ser usados como ligantes, solos o combinados con polímeros sintéticos, en pigmentos de revestimiento de papel. Su alto poder de retener agua controla la penetración ligante en la base de la lámina.

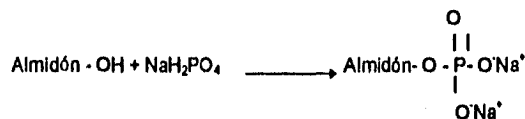
La baja temperatura de gelatinización es de gran valor cuando el almidón granular es añadido en el paso final de la humectación en las máquinas de papel, esperando que gelatinicen cuando el papel en láminas pase sobre los secadores de tambor.

Este tipo de almidones son de importancia en la industria alimentaria ya que proveen viscosidad estable en el espesamiento de alimentos y ayudan a mantener la humedad bajo temperaturas bajas de almacenaje.

Estos almidones son usualmente sometidos al tratamiento de enlaces cruzados para obtener la textura deseada y resistencia a altas temperaturas, bajos pH y degradación por corte, a menudo encontrado en procesos. También pueden ser usados en conjunción con otros espesantes en ensaladas, rellenos de pays y pudines, donde deben dar una textura suave, espesa, clara y no granular.

- Fosfato monoésteres de almidón

Los fosfato monoésteres de almidón pueden ser preparados por el calentamiento de almidón con una humedad del 10% y ortofosfatos a un pH de 5-6.5 durante 0.5 a 6 horas a una temperatura de 120 a 160° F.

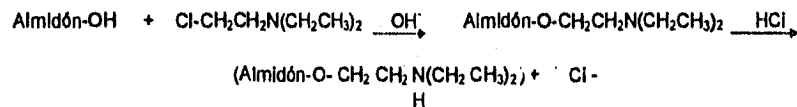


Fuente: Wurzburg (51)

Estos almidones son buenos emulsificantes de aceite vegetal en agua y son efectivos como pudines de almidón. Almidones secados en aspersión con sales de fosfato al 0.5 - 1% son usados para impartir sabor. También se producen películas que contienen gelatina y glicerol o 2:3 glicerol - sorbitol usado para revestimientos de papel.

- Almidones catiónicos

Bajo condiciones alcalinas de reacción los almidones catiónicos son obtenidos como una base libre. La neutralización convierte el grupo amino libre en una sal de amonio terciario.



Son derivados comerciales importantes usados en grandes cantidades por la industria papelera como aditivos en el terminado donde éstos proveen retención y fuerza, y como ligantes en revestimientos.

La temperatura de gelatinización de los almidones catiónicos decrece cuando el número de grupos se incrementa. Las dispersiones muestran estabilidad y claridad.

En la industria del papel actúan como un puente iónico entre las fibras de celulosa y los pigmentos.

Los almidones catiónicos son agentes efectivos para flocular suspensiones acuosas de partículas negativas orgánicas u inorgánicas como son arcillas, bióxido de titanio, acero bruto, almidón aniónico y celulosa.

Los éteres cuaternarios de amonio son usados como para romper emulsiones agua en aceite y aceite en agua.

Almidones catiónicos insolubles son efectivos para remover aniones de metales pesados como cromatos, dicromatos, molibdato, ferrocianidinas y permanganato que provienen de aguas de desperdicio.

El derivado terciario aminoalquil de almidón de maíz alto en amilosa es usado como ingrediente activo en el spray fijador del cabello (49).

Tabla núm. 7

Características de almidones modificados

Almidón modificado	Características	Principales usos
Almidones Hipoclorito oxidados	Galatilizan a menor temperatura que su almidón nativo	Ligantes en la industria papelera. Fuerza y extensión a tintas
Almidones de eniaces cruzados	Genera pastas que resisten altas temperaturas y pH bajos	Mejoran textura en pastas. Adhesivos e impresión textil
Esteres de almidón	Caracter hidrofóbico catiónico o aniónico	Estabilización a soles
Hidroalquil almidones	Baja temperatura de gelatinización	Ligantes en pigmentos Viscosidad estable a alimentos
Fosfato Monoesteres de almidón	Emulsificantes de aceites	Pudines de almidón Revestimientos de pieles
Almidones catiónicos	Proveen retención y fuerza Floculan suspensiones acuosas	Aditivos en papeles Remoción de iones metálicos

3.3.7 Almidón de papa

- Generalidades

El proceso de la papa y producción de almidón está confinado a climas donde después de la cosecha la papa puede ser almacenada durante el invierno.

La mayor área de crecimiento y proceso de la papa fuera de los Estados Unidos está en el norte de Europa, cultivando las variedades especiales de papa, por su alto contenido de almidón.

Alemania es el principal productor de almidón de papa y es de ahí de donde llegan los mayores embarques a los Estados Unidos, aproximadamente el 40% del almidón de papa consumido en los Estados Unidos es importado.(22)

La composición de la papa es influenciada por la variedad, área de crecimiento, prácticas de cultivo, cuidado en el almacenamiento y otros factores.

Reportes de valores en función de distintos métodos analíticos empleados se reportan en la siguiente tabla:(49)

Tabla núm. 8

Análisis proximal de papas blancas

Componente	Promedio %	Rango %
Agua	77.5	63.20 - 86.90
Sólidos totales	22.5	13.10 - 36.80
Proteína	2.0	0.70 - 4.60
Grasa	0.1	0.02 - 0.96
Carbohidratos totales	19.4	13.30 - 30.53
Fibra cruda	0.6	0.17 - 3.48
Cenizas	1.0	0.44 - 1.90

Fuente: Desrosler (11)

- Proceso de manufactura

Quando el proceso comienza, las papas crudas son almacenadas en la planta. El paso de lavado, es a través de paletas o lavador de barriles.

Después del lavado, las papas son desintegradas, en el proceso europeo, se usa un raspador de navajas rotatorio; en el norieamericano, el molino tiene dispuestas largas raspaderas que rompen la pared celular. La papa macerada es pasada por un tamiz forzando la pulpa a través de los orificios.(9)

En el primer paso de la molienda, el tamiz tiene un tamaño de 3/16 - 1/4 de pulgada. Se adicionado normalmente bisulfito en el tiempo de la desintegración, para inhibir la acción de enzimas oxidativas, esto blanquea el almidón. El bisulfito de sodio puede ser adicionado una o dos veces mas en otros pasos del proceso.

En el siguiente paso la pulpa es tamizada a través de una malla rotatoria para separar el almidón libre de la pulpa. Para una recuperación eficiente del almidón, la pulpa es realimentada en un molino de martillo con tamices de 1/16 de pulgada o menos. Con dos pasos de molienda, el almidón obtenido representa aproximadamente como el 12% de las papas crudas que llegan a la planta.

El almidón que viene del tamiz de mallas rotatorias es diluido con agua fresca para sacar impurezas solubles, después se concentra en un separador continuo de centrifuga.(9)

Debe haber dos o más operaciones de separación en serie con tamices separados para remover trazas de fibra.

En el lavado final, en algunos casos se realiza una dilución con agua fresca, reconcentrándola en un hidrociclón. De aquí, el almidón es alimentado a una centrifuga continua para una mejor purificación.

El almidón limpio es entonces transferido a un tanque. El secado mas común es el fuego directo con gas natural, teniendo un ventilador de inducción que empuja el almidón y la corriente de aire caliente a través de un ciclón que separa el producto seco.

La temperatura es controlada de tal manera que ésta esté entre 115-120°F. (46-49 °C.) y la humedad de equilibrio debe ser de 17-18%.

Se debe tener cuidado en un secado a temperaturas excesivas arriba de 360° F. (175 °C.), ya que puede resultar un pregelatinizado o "pastas" aglomeradas de almidón. (49)

Cuando se manufactura al almidón de papa, se obtienen entre 400-450 libras de pulpa por tonelada de almidón producido, éste material tiene una alta Demanda Bioquímica de Oxígeno y no debe descargarse en la cañería pública.

- Modificaciones y derivados

La más importante modificación del almidón de papa es la pregelatinización para hacerlo dispersible en agua fría. El pregelatinizado puede ser usado directamente en muchas aplicaciones, sin la necesidad de ser cocido en el momento de usarse.

El almidón de papa catiónico es el siguiente en importancia, éste se hace por la exposición a rayos X del almidón de papa en condiciones alcalinas, con un reactivo que contenga un grupo amonio cuaternario y un grupo clorhidrín o glicídil, éste tiene una mínima pérdida de la viscosidad y de la formación de la película característica, por lo que tiene preferencia sobre el almidón catiónico del maíz. Las cargas electropositivas causan un enlace con los sustratos cargados negativamente y atrae aditivos cargados negativamente al sustrato (22).

El almidón de papa dextrinizado es preparado por calentamiento en seco, algunas veces en presencia de catálisis ácida. La degradación en la cadena da gomas que son fácilmente solubles en agua.

La preparación de almidones de papa hidroxietilados o carboximetilados se hace con un tratamiento con Na OH y óxido de etileno o ácido cloro acético. Los productos son extremadamente estables en viscosidad y dan películas que imparten flexibilidad (49).

- Usos

El almidón de papa es preferido sobre el almidón de maíz y otros almidones en diferentes aplicaciones, sus características más importantes son:

a) Elevada consistencia en pastas seguido por un decremento en la viscosidad con una extensa agitación y calentamiento.

b) Formación de una excelente película flexible.

c) Tiene poder ligante.

d) Baja temperatura de gelatinización.

- Naturaleza y propiedades

Por la comparación hecha por la Industria Roquette Freres, entre el almidón de papa y el de maíz, maíz ceroso, trigo, tapioca, se puede entender mejor las propiedades y aplicaciones del almidón de papa. El tamaño y la forma de los gránulos de almidón se da en la siguiente tabla:

Tabla núm. 9

Origen	Tamaño (micrones)	Forma
Papa	20-100	elipsoidales
Tapioca	0-50	-
Maíz	0-40	redondos, centro angular
Trigo	0-40	esférico, centro no visible

Fuente: Radley (40)

Cuando se presenta el calentamiento en agua, el tamaño y forma del gránulo explica muchas de las propiedades las cuales aparecen durante la cocción de los alimentos; los gránulos muy pequeños son humedecidos con dificultad, hinchan con mayor dificultad y tienen mayor resistencia al rompimiento cuando la temperatura empieza a elevarse, es por eso que el almidón de papa empieza a hincharse a una temperatura más baja que la observada en los otros almidones (temperatura de inicio de gelatinización).

Este fenómeno de hinchamiento-viscosidad de acuerdo a la temperatura es estudiado con el Viscógrafo de Brabender, con los resultados que se dan en la tabla. Una suspensión acuosa es preparada con cada almidón, con un contenido de 6.8% de sustancia seca, a esta preparación se le incrementa la temperatura a razón de 1.5 °C. por minuto y se mide la viscosidad de cada almidón.

Tabla núm.10

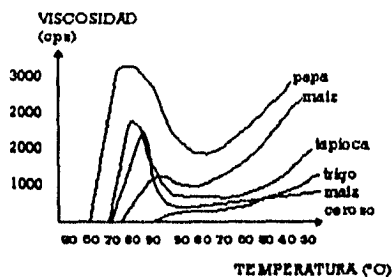
Características de varios almidones, medidos con el Viscógrafo de Brabender (36).

Viscosidad Brabender	Almidón maíz	Almidón trigo	Almidón tapioca	Almidón camote	A. maíz ceroso	Almidón papa
T. de inicio de gelatinización °C	67-75	70-83	60-65	70-75	67-75	55-60
Viscosidad al 6.8% de sólidos en unidades Brabender						
- Pico	1070	350	1950	1150	2000	3250
- Mínimo	890	-	750	720	690	1320
Conc. de sólidos que dan la misma concentración %	6.5	-	5.2	6.3	4.3	3.

Fuente: Roquette Freres (36)

Las gráficas de la figura núm. 16 muestran el comportamiento de soluciones de almidones cuando se calientan por 10 minutos a 92 °C. recopiladas en el Viscógrafo de Brabender en donde se puede observar que los gránulos hinchados tienden a romperse.

Figura núm. 16



Fuente: Roquette Freres (36)

Estas curvas muestran las siguientes ventajas del almidón de papa:

- Tiene la menor temperatura de inicio de gelatinización: A una concentración de 2-3%, la temperatura de gelatinización comienza a poco menos de 55 °C. En promedio, el almidón papa tiene una temperatura de gelatinización aproximadamente 10 °C menor que la del almidón de maíz.

- El almidón de papa da gran poder ligante y altas viscosidades.

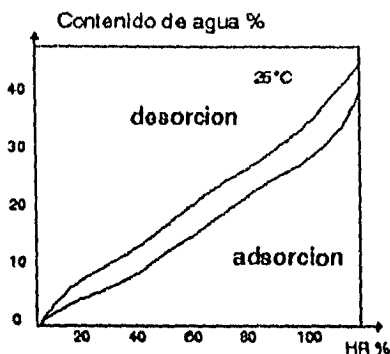
- Da, así mismo, altas viscosidades en frío, las cuales dan una mejor cohesión que las obtenidas con otros almidones. Esta propiedad de gran cohesión-viscosidad es usada en muchas aplicaciones y particularmente en la manufactura de panecillos en productos quebradizos; ej. Conos de helados.

- Los gránulos de almidón de papa presentan además, el mejor poder de hinchamiento y solubilidad.

- A nivel molecular, el almidón de papa contiene grupos "fosfato" los cuales confieren propiedades, que son usadas principalmente en la industria no alimentaria (36).

La curva de adsorción-desorción a 25 °C que se ven en la figura núm. 17 demuestra que el equilibrio de agua contenido es desarrollado a una humedad atmosférica; esto explica por que el almidón de papa es comercializado con un contenido de humedad alrededor del 20%.

Figura núm. 17



Fuente: Roquette Freres (36)

Las características del almidón de papa dependen del método de extracción, uno de los métodos más modernos es el de "Clasificado por Aire" y se conoce como PSC (Potato Starch Concentrate) que se produce con clasificación directa con aire con un secado por spray. El método empleado depende siempre de las características específicas del almidón deseado según el uso que se le quiera dar ya sea en la industria alimentaria como en la industria no alimentaria (16).

- Aplicaciones en la industria alimenticia.

El uso en alimentos acapara cerca del 30% del mercado del almidón de papa en los E.U.A., cantidades importantes son usadas en sopas, donde por su alta viscosidad dispersa efectivamente los ingredientes durante el mezclado. Durante el subsecuente tratamiento térmico en el autoclave, la viscosidad se rompe para obtener la consistencia deseada para el producto final.

El almidón pregelatinizado de papa es efectivo en pudines instantáneos. Las formulaciones secas consisten principalmente de almidón soluble, azúcar, saborizantes, además de la adición de leche fría. El almidón se disuelve rápidamente y da lugar al gel. Otro uso en alimentos es como agente engrosante en el llenado de pays, para dar cuerpo gelatinoso en golosinas como los frijoles dulces, para dar cuerpo en caramelos y bombones y como agente empolvante, previamente mezclado con azúcar en polvo, como en dulces de goma y gomas de mascar (36).

Productos cárnicos:

El almidón puede ser usado en varios productos cárnicos procesados como salchichas, hamburguesas, jamón, mortadela, pates etc. (37)

La industria procesadora de carnes consume una cantidad sustancial de almidones, los productos de almidón han sido usados ampliamente como ligantes en la manufactura de embudidos, el porcentaje aceptado por la FDA es hasta de un 4% en peso, en la salmuera el porcentaje es del 10%.

El propósito de agregar almidón es para mantener firme el producto cárnico, pero cuidando el cuerpo y conservando el tejido cárnico, humedad y grasa durante las distintas etapas de manufactura, cocido y almacenado del producto cárnico.

Los almidones son usados como ligantes en procesos de carnes para absorber la humedad, la cual es separada de las proteínas durante el calentamiento.

Preferentemente, también el ligante debe de ayudar en la retención de humedad durante el cocimiento y procesamiento, si no ocurre esto, la carne y la grasa empiezan a separarse, dándole mal aspecto; también el ligante debe ayudar en la retención de grasa dispersa por el incremento de la viscosidad, por lo tanto, entonces esto no puede empacarse, bajo condiciones cuando éstas tienden a ser líquidas. En adición, el ligante no debe impartir ningún sabor indeseable u olor al producto cárnico (22).

En resumen, los almidones son usados en productos cárnicos por las siguientes razones:

- a) Son usados como absorbentes de agua y agentes ligantes.
- b) Imparten textura (firmeza, cohesividad y jugosidad) de los productos cárnicos.
- c) Sirven para bajar relativamente los costos por relleno y reducen el costo de cocido.

Uno de los mejores ligantes para embutidos es el almidón de papa, éste tiene una temperatura baja de gelatinización lo cual permite la absorción de agua en las etapas tempranas del proceso de cocción. El almidón crea una clara textura homogénea con la grasa y la carne, dando un cuerpo firme. Los almidones de maíz y arroz son también usados como ligantes, pero estos no tienen la calidad del almidón de papa ya que tienen pobres propiedades de absorción y alta temperatura de gelatinización.

Resumiendo, con la aplicación del almidón de papa en productos cárnicos se pueden obtener las siguientes ventajas.

- a) El almidón de papa tiene una baja temperatura de gelatinización lo cual permite la absorción de agua en etapas tempranas de la cocción.
- b) El almidón de papa hincha mas rápidamente que los demás almidones.
- c) Los gránulos del almidón de papa absorben grandes cantidades de agua cuando se calienta cerca de los 70 °C.
- d) El almidón de papa imparte propiedades de textura (jugosidad) en los productos cárnicos cocidos.
- e) El almidón de papa da una homogeneidad mas estable en sistemas de alta extensibilidad en productos cárnicos.(37)

Aceites:

La funcionalidad del almidón es impartir viscosidad y ser agente de control de poca fluidez, las características de viscosidad que presenta el almidón de papa son preferidas sobre los almidones comunes en ésta aplicación.(49)

Panificación:

Las papas han sido utilizadas desde hace muchos años, cuando la levadura era utilizada en la panificación, la funcionalidad de la harina de papa es el proporcionar un sustrato para la producción de CO₂ y mejoramiento de la textura de la pasta de panificación, disminuyendo la fuerza de la harina de trigo, obteniendo una estructura porosa y delgada, (36) se debe de tener extremo cuidado en los porcentajes de adición de harina de papa (se recomienda un 5% de sólidos de papa) ya que esta no contiene gluten y puede modificar el poder ligante del gluten.(7)

La harina de papa puede utilizarse como sustituto de harina de trigo en panificación (7,14,52), o en pastas, pasteles o donas (9), esto se debe a que son productos con características funcionales pues presentan una mayor viscosidad, gelatinización a menor temperatura, además, el almidón de estos productos es susceptible de ser modificado mecánicamente, teniendo una gran estabilidad química, ya que presenta una menor retrogradación.

Sopas y aderezos:

El almidón de papa hace posible un engrosamiento claro inmediatamente después de su cocción, esto desarrolla viscosidades muy altas con un peso muy bajo. Si la temperatura de gelatinización es muy baja (55°C), la hace útil en el uso de sopas instantáneas en polvo. Estas son preparadas por la simple mezcla de agua caliente, lo que lo hace fácilmente dispersable. (38)

El almidón de papa también puede dar fácilmente una apariencia aperitada similar a la de la tapioca perlada en las sopas, esto se puede hacer por un proceso continuo en un secador de tambores por la aspersión de una solución de almidón en agua (38)

El gran poder de cohesión de las pastas de almidón cocidas y su bajo punto de gelatinización hacen posible obtener tallarines transparentes de una gran calidad. Por las propiedades mencionadas anteriormente, el almidón de papa puede ser utilizado en muchas preparaciones. En su forma precocida es muy apreciado por el engrosamiento de aderezos, pudines y postres instantáneos (36).

- Aplicaciones en la Industria no alimenticia.

Industria papelera:

Los productores de papel acaparan cerca del 35% del almidón de papa usado en los E.U.A., la mayoría de los productos usados son derivados catiónicos. El almidón de papa catiónico imparte retención en el llenador y fibras finas como las requiere las propiedades mecánicas del papel.

Los materiales de revestimiento incluyen almidones sin modificar, que son retenidos con las fibras por reciclado, esto reduce significativamente la demanda bioquímica de oxígeno del agua de desperdicio (49).

Adhesivos:

El almidón de papa dextrinizado es el preferido para el uso de adhesivos, cerca del 19% del almidón de papa que se consume en los E.U.A. se usa para este fin.

Es un ligante en las lijas y telas abrasivas, así como en encuadernación, las dextrinas de papa dan pastas de alto poder adherente y una película residual flexible, las películas de dextrinas de papa son también sobresalientes por su facilidad para removerse, propiedades deseables en muclagos usados para estampas, envolturas y papel adhesivo (49).

Industria textil:

El almidón de papa es usado como un producto de clasificación en el hilado de artículos tradicionales de algodón, lana, lino, etc. se prefiere sobre otros almidones

por su capacidad de formar películas, que son flexibles y que imparten resistencia mecánica a la película.

El almidón de papa es también usado en el terminado de fibras textiles, especialmente en el blanqueado en las industrias del algodón (36).

Industria farmacéutica:

El almidón de papa se usa como excipiente en el proceso de manufactura de algunos productos farmacéuticos y también como auxiliar en el entabletado de estos productos (36).

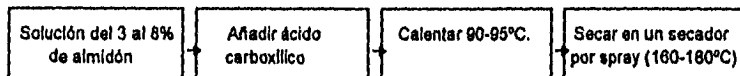
3.4 Almidones pregelatinizados

3.4.1 Producción

El secador de tambores, a pesar de todas sus fallas y limitaciones es el equipo más comúnmente usado para la producción de almidones pregelatinizados. Los secadores por aspersión han sido usados comercialmente, pero éstos son generalmente ineconómicos por que la alta viscosidad de las pastas de almidón requiere del secado de soluciones muy bajas en sólidos. Un método para preparar almidones pregelatinizados solubles en agua fría por aspersión consiste en preparar una solución del 3 al 8% en peso de almidón comercial, agregarle ácido carboxílico orgánico, calentar esta mezcla a una temperatura de 90-95°C, hasta que el almidón se gelatiniza completamente y después secarla en un secador por spray a una temperatura entre 160-280°C (23). El secador de espuma de rejillas puede ser considerado, ya que éste convierte la pasta a finas láminas que son susceptibles al secado.

Figura núm. 18

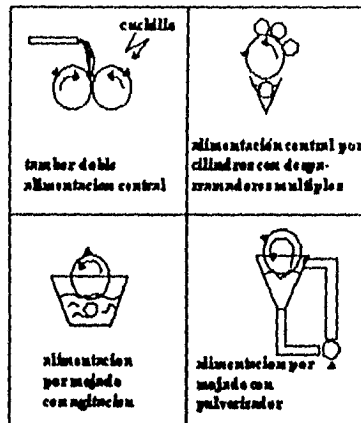
Proceso de pregelatinizado por Spray



Las más recientes investigaciones en las técnicas de secado por soplado han demostrado que es factible la práctica en el proceso continuo de cocido-extrusión-soplado. Existen secadores de papel, en los que se conocen la tasa de transferencia de calor y evaporación de agua, y pueden ser usados para el secado del almidón. La operación comercial del secado de tambores puede ser exasperante y una experiencia frustrante. El proceso es simple y recto en teoría, pero puede ser impredecible y fuera de control en la práctica. Los costos de operación y mantenimiento son generalmente altos, en relación al rendimiento del producto final. Las ilustraciones de algunas posibles unidades básicas en el proceso de secado se ilustran a continuación en la figura núm. 19

Figura núm. 19

Distintos tipos de secadores de tambores.



Fuente: Whistler (49).

La elección del equipo depende de la naturaleza del sistema de alimentación y del producto final deseado (49).

Actualmente, se han desarrollado nuevos procesos que obtienen mejores rendimientos y resultados en el producto final, como el que se describe a continuación:

El proceso consiste en una simultánea atomización, pregelatinización y secado de una pasta de almidón húmedo que produce un almidón pregelatinizado en polvo, y consta esencialmente de los siguientes pasos:

a) Preparación de la pasta de almidón húmedo, aproximadamente al 75% en peso de almidón granular en agua.

b) Alimentar la pasta de almidón en un conducto de agotamiento conteniendo un flujo de gas caliente que proviene de una máquina Jet de combustión pulsante para atomizar la pasta del almidón.

c) Manteniendo la mezcla resultante de almidón atomizado, agua y gas caliente en el conducto de agotamiento por un tiempo suficiente para pregelatinizar, y secar levemente el almidón atomizado y posteriormente,

d) Recuperar el almidón pregelatinizado en polvo en una cámara equipada con un flujo de aire (48).

También se pueden procesar determinados cereales con un cierto contenido de almidón pregelatinizado como es el caso del arroz, siendo el proceso el siguiente:

a) Remojar el arroz pulido por un período de tiempo de 1 a 16 horas en agua, teniendo una temperatura por debajo de los 30 °C

b) Remojar el arroz pulido del paso anterior por un período de tiempo de 30 a 90 minutos en agua teniendo una temperatura entre 50 y 70 °C.

c) Cocer con vapor el arroz pulido del paso anterior a una temperatura entre 95 y 100 °C. por un período de tiempo de 5 a 30 minutos, y

d) Secar el arroz obtenido del paso (c) (27).

3.4.2 Pruebas y evaluación

En productos alimenticios, los almidones pregelatinizados usualmente reaccionan con otros ingredientes presentes. En algunas pruebas, es muy posible omitir ingredientes en cantidades pequeñas como saborizantes y colorantes, pero ingredientes como azúcar, lípidos, sales, acidulantes, proteínas, gomas y otros almidones pueden tener efectos profundos en la rehidratación de almidones pregelatinizados.

Una de las pruebas de evaluación de almidones pregelatinizados en alimentos es la rehidratación del almidón a temperatura ambiente, midiendo la viscosidad en frío y determinando su vida de anaquel o la vida media de la pasta congelada. Generalmente un mezclador eléctrico de uso casero puede ser usado para una rehidratación adecuada (40,49).

El almidón es espolvoreado en la parte superior del agua con suave agitación, aplicándose luego una agitación moderada. El atrapamiento de aire en este proceso puede dar malas lecturas de viscosidad.

La premezcla del almidón con azúcar, sal, grasa o algún otro ingrediente mejora la rehidratación evitando la formación de chichones u "ojos de pescado".

El viscosímetro de Brookfield es ampliamente usado para evaluar la viscosidad de las pastas a diferentes temperaturas (6).

Es importante tamizar el almidón a través de un poro estándar, para conocer el promedio del tamaño de la partícula y la distribución del tamaño de partícula.

Para muestras desconocidas, es necesario un examen de microscopía a 450X para determinar el almidón nativo y el grado de gelatinización.

El color del almidón puede ser comparado con un estándar o puede ser medido como "blancura" con un aparato de Agron o con Espectrofotometría.

La contaminación microbiana no es frecuente por el tratamiento térmico que esteriliza el producto, además de que la actividad de agua es baja, evitando la reproducción de los microorganismos, teniendo una larga vida de anaquel. La molienda y el empaquetado pueden introducir algún contaminante y subsecuentemente una cuenta microbiana alta (49).

Los almidones pregelatinizados son manufacturados por el secado de pastas precocidas de almidón en secadores de tambores, en discos calientes por compresión o en secado por aspersión. Para determinar el método que fue usado para secar, lo que usualmente se hace es suspender la muestra en glicerol y examinarlo en un microscopio, si las partículas aparecen como trozos irregulares la pasta fue probablemente secada en una capa relativamente gruesa con un secador de tambores, luego molido y tamizado; si el almidón es de forma delgada e irregular de un plato, como vidrios rotos fue efectuada por discos de compresión, el secado por aspersión da esferas huecas atrapadas de aire (47).

3.4.3 Propiedades y comportamiento

Cada almidón pregelatinizado, reconstituido con agua fría, muestra menor poder de engrosamiento y menor tendencia a dar un gel que las pastas de almidón de origen. Kerr (22) atribuye esta pérdida de poder de gelificación y engrosamiento a la retrogradación en la película húmeda durante el secado (22).

De cualquier modo, el cambio mayor tiene lugar durante el proceso de pregelatinización de almidones, en la destrucción de gránulos de almidón hidratados. El examen microscópico de pastas reconstituidas muestra que la destrucción del gránulo se lleva a cabo frecuentemente.

El término "factor mecánico de corte" ha sido usado para designar a las fuerzas que actúan sobre los gránulos durante el proceso y por los cuales se obtiene una desorganización.

Ocurren cambios paralelos en las propiedades de pastas frescas de almidón que han sido homogeneizadas a distintos grados; así como en secadores jet continuos o en intercambiadores de calor en los cuales el factor de destrucción mecánico viene a ser apreciable.

La reasociación molecular puede ser extensiva desde el momento de que las partículas se comportan como un almidón crudo. Estas partículas tienden a dar una pasta rugosa y granosa, la cual es inaceptable en usos alimentarios. Esto se evita secando películas finas a altas revoluciones por minuto, lo que disminuye el tiempo de reasociación.

Otro fenómeno relacionado con la reasociación es el cambio lento que con la edad sufren todos los pregelatinizados, bajo condiciones de almacenamiento a temperaturas moderadas y en un lugar seco. Estos cambios pueden ser progresivos después de muchos meses, aunque la magnitud del cambio sea gradual (49).

Los cambios que se presentan son: una lenta rehidratación, menor viscosidad en pastas frías y alta viscosidad en pastas calientes. Un tratamiento de calor en el polvo seco puede hacer mas rápidos estos cambios y reduce el tiempo de meses a horas.

Las cadenas de almidón pueden tener movilidad, inclusive en el estado semisecco, por lo que los puentes de hidrógeno pueden estar incrementándose gradualmente durante el almacenamiento.

Por lo tanto, la destrucción granular es el mayor factor a considerar en los secadores de tambores, aunque la reasociación molecular también debe ser considerada (51).

Con muchos pudines y salsas, es necesario tener una rápida rehidratación para tener una pasta lisa y sin gránulos. Es igualmente necesaria una mollienda fina y un tamizado adecuado dan estas características.

Muchos almidones contienen pequeñas cantidades de ácidos grasos insaturados que son protectores naturales contra la oxidación en los gránulos crudos. La destrucción de los gránulos durante el secado en tambores permite que se desarrolle la rancidez en una o dos semanas, cuando es almacenado el polvo seco (51).

Se ha propuesto la extracción de los ácidos grasos con metanol y amonía, pero imparte sabor inadecuado al producto.

3.4.4 Usos

Los usos de los almidones pregelatinizados en la industria no alimentaria son variados y numerosos. Los almidones pregelatinizados son adicionados a los aceites de los barrenos de lodo para el control de la pérdida de agua, aquí en contraste con la mayoría de los usos en alimentos, es necesario un alto factor mecánico de corte.

Las bases secas en adhesivos para tapices tienen altas proporciones de almidones precocidos o dextrinas en agua fría.

El acabado de las fibras textiles es obtenida por la combinación de monómeros reactivos o polímeros con almidones pregelatinizados.

Almidones precocidos son adicionados al humectante final de las máquinas para papel como adhesivos internos para dar las fibras de unión al producto final de la hoja de papel (49).

El almidón pregelatinizado es usado como ligante en el enladrillado de carbón vegetal y carbón mineral en polvo.

El almidón de malz ceroso ha sido usado como protector coloidal en base de pinturas para agua. Los almidones también han sido usados en el encapsulado de alimentos para animales (49).

En alimentos, los almidones pregelatinizados pueden ser aplicados en cualquier caso en que se desee tener una solución espesa, pero el cocido debe ser evitado.

Los pudines instantáneos que se sirven después de haber sido mezclados con leche fría son un buen ejemplo de éstos (40).

En mezclas pasteleras, la adición de almidones pregelatinizados incrementa la absorción de agua produciendo una pasta húmeda de mayor volumen con un mezclado moderado (22).

Asimismo, en mezclas pasteleras congeladas o de jarabes, los almidones pregelatinizados confieren tolerancia a la variación de la adición de agua.

El almidón también es efectivo en el control del crecimiento de cristales de azúcar (40). Si el almidón proviene del maíz ceroso, da además un factor de "retención de frescura" en pasteles cocidos.

El uso de los almidones pregelatinizados y harinas como ligante y estabilizador de la humedad en comidas instantáneas cármicas es bien conocido, Evans ha demostrado que las hojuelas de almidón pregelatinizado pueden atrapar grasas y protegerlas de la rancidez oxidativa en formulaciones de sopas secas (5).

El uso de almidones precocidos para suspender cocoa, almidón crudo o sólidos similares insolubles se encuentra en muchas patentes.

También se ha sugerido que ésteres y éteres de los almidones en forma pregelatinizada puede servir como eficientes estabilizadores de helados (49).

Se ha introducido una nueva línea de almidones que hinchán en agua fría, éstos se forman de 2 almidones nativos y 2 modificados. Ultra Tex - 2 es el nombre de este novedoso producto que imparte mayor claridad y suavidad. La propiedad más importante es la elevada estabilidad de la textura en productos expuestos a altas temperaturas o aquellos que han sido congelados; además, el Ultra Tex - 2 se hidrata más rápidamente que los almidones pregelatinizados tradicionales. El Ultra Tex - 3 se deriva de la tapioca y se usa en productos de sabor delicado como salsas de queso (28).

Tabla núm 11

Usos de almidones modificados

Industria alimenticia	Industria no alimenticia
Producción de Pudines Instantáneos	Control de pérdida de agua de barrenos de lodo
Mezclas pasteleras aumentan la absorción de agua	Mejora de la adhesividad en tapices
Control de crecimiento de cristales de azúcar	Protector coloidal en base de pinturas de agua
Retención de frescura en pasteles cocidos	Ligante en el enladrillado de carbón vegetal
Ligante y estabilizador en productos cármicos	
Protección a las grasas de la rancidez oxidativa	
Suspensión de Cocoa o sólidos similares	

3.5 Viscosidad

3.5.1 Introducción

En algunas de las operaciones de procesamiento de alimentos es esencial conocer la viscosidad del fluido que es procesado, de tal manera que sea elegido el equipo más adecuado durante el proceso. En algunas operaciones, la viscosidad puede cambiar considerablemente, esto es, particularmente en procesos que involucran calentamiento, enfriamiento, homogeneización y concentración, así como durante algunas fermentaciones industriales por

mohos; éstos cambios en la viscosidad deben de ser considerados cuando se diseñan éstos procesos.

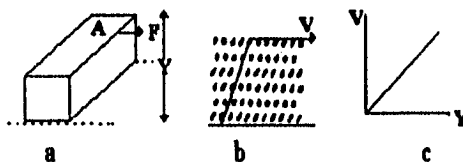
Medir la viscosidad, es a menudo muy importante para el control de calidad, particularmente en productos en los que esperamos una consistencia en particular, en relación con la apariencia o con el gusto, por ejemplo crema o yoghurt.

La viscosidad puede ser definida sencillamente como la fricción interna que actúa dentro de un fluido, en otras palabras, es la resistencia al flujo. Un fluido en un vaso, cuando es volteado, está sujeto a las fuerzas gravitacionales; algunos fluidos fluyen fácilmente fuera del vaso, algunos con dificultad y otros no lo hacen. La viscosidad es también una medida de la tasa de flujo (24).

3.5.2 Tensión de corte y tasa de corte

Cuando una fuerza cortante es aplicada a un fluido, ésta causa una deformación, esta deformación es llamada flujo.

Figura núm. 20



- a) Tensión de corte.
- b) Capas.
- c) Gradiente de velocidad establecido en el fluido.

Fuente: Lewis (24).

Como podemos ver en la figura núm. 19, si la fuerza cortante F es aplicada a través de un área A de la superficie del fluido en contacto exactamente con un plano estacionario (figura a), entonces la capa superior del fluido es movido con una velocidad V , mientras que la capa en contacto con el plano permanecerá estacionario. La capa superior en turno impide el avance de la capa de abajo, con una pequeña reducción en la velocidad, ésta en turno, impide el avance de la siguiente capa (figura b). Consecuentemente el gradiente de velocidad es aumentado dentro del fluido (figura c). La naturaleza del gradiente de velocidad dependerá de la viscosidad del fluido (24).

La tensión de corte (τ) del fluido está dado por:

$$\tau = \frac{\text{Fuerza } F}{\text{Área } A} \quad \text{N / m}^2$$

La tasa de corte (gradiente de velocidad) de dv/dy (1/s), donde los fluidos que están siendo probados o procesados, pueden ser sujetos a un amplio rango de tensión de corte.

3.5.3 Fluidos newtonianos y viscosidad dinámica

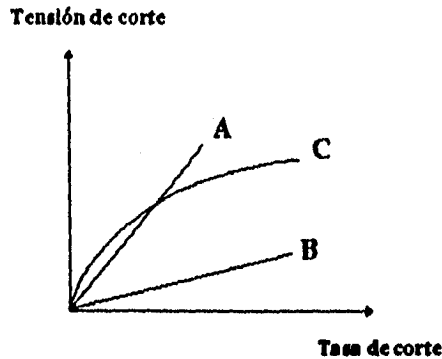
Para la clase de fluidos conocidos como fluidos newtonianos, hay una relación lineal entre la tensión de corte y la tasa de corte. La viscosidad dinámica o coeficiente de viscosidad se define como la relación de la tensión de corte y la tasa de corte (24).

$$\text{Viscosidad Dinámica} = \frac{\text{Tensión de Corte}}{\text{Tasa de Corte}}$$

A menudo, los datos de fluidos son presentados en la forma de diagramas tensión de corte - tasa de corte, haciendo la gráfica en ambas como una forma lineal o forma log - log, tales gráficas son llamadas reogramas, como las que se ven en la figura núm. 21

Figura núm. 21

Reogramas de 2 diferentes fluidos Newtonianos (A y B) y un fluido no Newtoniano (C)



Fuente: Lewis (24).

Las líneas A, B y C son reogramas de 3 diferentes fluidos, los fluidos representados por las líneas A y B son Newtonianos, con la viscosidad dinámica de la línea A siendo más grande que la de la línea B. El fluido representado por la línea C es no Newtoniano y no tiene una relación lineal entre la tensión de corte y la tasa de corte, ocasionalmente los datos son representados en una gráfica de tasa de corte vs tensión de corte.

Las dimensiones de la viscosidad dinámica en varios sistemas son dados en la siguiente tabla:(26)

Tabla núm. 12

Sistema de Unidades	Tensión de corte	Tasa de corte	Viscosidad dinámica
SI	$N\ m^{-2}$	s^{-1}	$N\ s\ m^{-2}$ o poiseville (P1)
CGS	$Dyn\ cm^{-2}$	s^{-1}	$Dyn\ s\ cm^{-2}$ o poise (P)
Imperial	$lbf\ ft^{-2}$	s^{-1}	$lbf\ s\ ft^{-2}$

Conversión: $1.488\ N\ s\ m^{-2} = 1\ lbf\ s\ ft^{-2}$
Fuente: Matz (26)

En el sistema SI, un fluido que tiene una viscosidad de 1 N s m^{-2} (o un Poiseville (P1)) si su tensión de corte es de 1 N m^{-2} produce una tasa de corte de 1 s^{-1} . En la literatura, lo más usado es el Poise (p) o más comúnmente el centipoise (cp). Las unidades británicas son raramente usadas.

$$1 \text{ cp} = 10^{-3} \text{ P1}$$

El agua tiene una viscosidad de 1 cp a 20°C . La mayoría de los gases y fluidos simples exhiben un comportamiento Newtoniano. Los gases tienen los más bajos valores de viscosidades, fluidos simples como el agua y soluciones diluidas de solventes orgánicos son considerados como fluidos de baja viscosidad.

Se sabe, que si la concentración de sólidos aumenta, la viscosidad aumenta, esto es durante ciertas operaciones como evaporación y ósmosis inversa. De hecho, en la concentración de proteínas por ultrafiltración, es la viscosidad la que limita el alcance de la concentración. Las proteínas tienen un gran efecto marcado en la viscosidad más que las sales o minerales en la misma concentración (15).

Los aceites son mucho más viscosos que el agua, la mayoría de los aceites de grado alimenticio tienen un comportamiento Newtoniano, sin embargo, existe una variación considerable en la viscosidad entre los diferentes tipos de aceite. El glicerol es también Newtoniano y es un fluido medio viscoso (26).

3.5.4 Efecto de la temperatura

La viscosidad es dependiente de la temperatura, esto es importante tanto en el control de la temperatura experimental durante esta determinación y en la permanencia de la temperatura constante cuando se están tomando los datos de la viscosidad.

Todos los líquidos disminuyen su viscosidad cuando la temperatura aumenta, en promedio, hay un cambio aproximado de 2% en la viscosidad por cada grado centígrado que cambie la temperatura, pero para muchas sustancias estos cambios son mayores.

Las temperaturas deben de ser controladas con un intervalo de $\pm 0.1^\circ\text{C}$, durante las determinaciones de viscosidad. La relación empírica más satisfactoria para ajustar los datos experimentales por cambios en la viscosidad relacionados con la temperatura está dada por la siguiente fórmula:

$$\log \frac{B}{T} = -\frac{C}{T}$$

donde T es la temperatura absoluta y B y C son constantes del fluido (24).

3.5.5 Viscosidad cinemática

Un término a menudo encontrado es la viscosidad cinemática, donde:

$$\text{Viscosidad cinemática} = \frac{\text{Viscosidad dinámica}}{\text{Densidad}}$$

La unidad más común es el Stoke (St). La siguiente tabla da los factores de conversión de viscosidad dinámica a viscosidad cinemática en los sistemas CGS y SI:

Tabla núm. 13

Conversión de Viscosidad Dinámica a Viscosidad Cinemática.

Sistema de Unidades	Viscosidad Cinemática	Viscosidad Dinámica	Densidad
CGS	St(cm^2s^{-1})	P($\text{g cm}^{-1}\text{s}^{-1}$)	g/ml
SI	m^2s^{-1}	P1($\text{Kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$)	Kg/Lt

Fuente: Lewis (24).

La viscosidad cinemática en Stokes es obtenida dividiendo la viscosidad dinámica en Poises, por la densidad en gramos por mililitro. Cuando son usados los tubos viscosimétricos comerciales en forma de U, la viscosidad cinemática es medida directamente. El factor de conversión de SI a Unidades Británicas es $92.9 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ ft}^2 \text{ s}^{-1}$ (15).

3.5.6 Viscosidad relativa y específica

Cuando se trabaja con emulsiones o suspensiones, la viscosidad es a menudo medida en términos comparativos, por ejemplo, la viscosidad de la emulsión o de la suspensión es comparada con la viscosidad de un solvente puro. Una viscosidad que es comúnmente usada es la viscosidad relativa, donde:(24)

$$\eta_r = \frac{\eta_s}{\eta_0} = 1 + K\phi$$

η_r = Viscosidad relativa de la suspensión.

η_s = Viscosidad de la suspensión.

η_0 = Viscosidad del solvente.

K = Constante.

ϕ = Es la fracción volumen ocupada por la fase dispersa.

Este tipo de relación fue propuesto por Einstein en 1906 para soluciones diluidas de partículas esféricas. En soluciones diluidas, la fracción volumen es proporcional a la concentración del soluto, entonces, la ecuación es:

$$\eta_r = 1 + Kc \text{ donde } c \text{ es la concentración.}$$

La viscosidad específica η_{sp} es definida como el incremento a través de la adición de un soluto:

$$\eta_{sp} = \eta_r - 1 = Kc$$

El cociente de viscosidad específica dividido por la concentración es llamada viscosidad reducida o número de viscosidad.

La viscosidad intrínseca es el valor limitante de la viscosidad reducida cuando la concentración se acerca a cero. Las unidades de la viscosidad reducida y de la viscosidad intrínseca son $\text{m}^3 \text{ Kg}^{-1}$ y ml g^{-1} respectivamente (24).

Para partículas esféricas en solución diluida, la viscosidad reducida podría ser igual a un valor constante, Einstein encontró que este valor es 2.5.

Los valores de viscosidad son normalmente determinados usando viscosímetros comerciales de tubos en forma de U (24).

3.5.7 Comportamiento no Newtoniano

Los fluidos no Newtonianos son aquellos que no tienen una relación lineal entre la tensión de corte y la tasa de corte. Ejemplos de fluidos No Newtonianos son soluciones concentradas de macromoléculas (proteínas, almidones, gomas) y materiales coloidales como emulsiones, pastas y suspensiones.

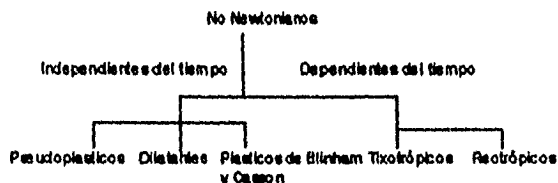
La viscosidad y la acción cortante son independientes de un gran número de factores como los siguientes:

- a) La naturaleza de la fase continua y de la fase dispersa.
- b) La interacción partícula - partícula y la interacción partícula - solvente.
- c) La concentración de las partículas, la forma, tamaño y composición química de éstas.

Los fluidos no Newtonianos son más difíciles de tratar y de clasificar experimentalmente, ya que la viscosidad depende de las condiciones experimentales seleccionadas. La viscosidad determinada bajo estas condiciones es llamada viscosidad aparente (η_a) y es igual a la tensión de corte entre la tasa de corte similar a los fluidos Newtonianos. La viscosidad de los fluidos no Newtonianos puede ser subdividida en dos, llamadas dependiente del tiempo e independientes del tiempo. El comportamiento independiente del tiempo es aquel en donde la viscosidad aparente es independiente de la historia de corte previa (cómo han sido tratados los fluidos); los fluidos dependientes del tiempo son aquellos donde la viscosidad aparente es dependiente de la historia de corte previa, éste tipo de fluidos es el más difícil de clasificar experimentalmente.

La figura número 22 ilustra las distintas divisiones del comportamiento no Newtoniano: (24)

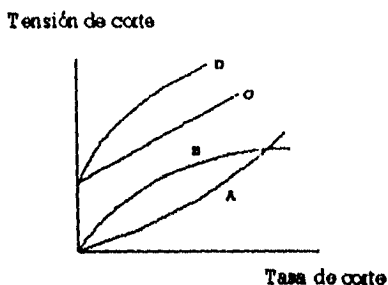
Figura núm. 22



- Fluidos independientes del tiempo.

Los tipos más comunes de comportamiento no Newtoniano independientes del tiempo pueden ser representados por las líneas A, B, C y D del reograma, que se ilustra en la figura núm. 23:

Figura núm. 23



Fuente: Lewis (24).

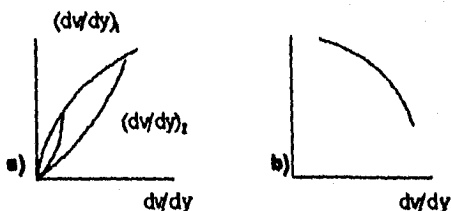
La línea A es un fluido pseudoplástico, la B es de un fluido dilatante y las líneas C y D son fluidos plásticos, la C es de un fluido plástico Bingham y la D de un fluido plástico Casson.

Para fluidos pseudoplásticos y dilatantes, la viscosidad aparente como una tasa de corte fija puede ser definida como la relación de la tensión de corte entre la tasa de corte, las unidades son similares a las de los fluidos Newtonianos. Los datos del reograma pueden ser transferidos a una gráfica de la viscosidad aparente vs la tasa de corte. De esta manera, la viscosidad aparente de cualquier tasa de corte es dada por la pendiente de la línea recta unida del punto al origen (24).

La figura núm. 23 muestra la curva típica de un fluido pseudoplástico, ahí se puede ver que la viscosidad aparente es mayor que la tasa de corte $(dv/dy)_1$, que $(dv/dy)_2$, como una medida de las respectivas pendientes, por lo tanto, la transformación de éstos datos a aquellos muestran que el fluido pseudoplástico aparenta ser menos viscoso a medida que la tasa de corte aumenta. El comportamiento pseudoplástico es llamado a veces comportamiento de corte fino y es el tipo más común de comportamiento no Newtoniano encontrado (26).

Figura núm. 24

Reograma de un fluido pseudoplástico



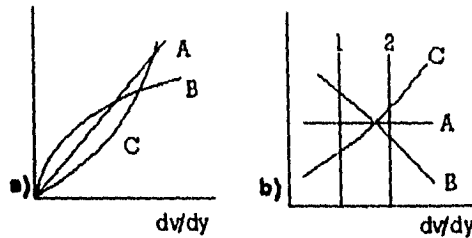
a) Tensión de corte vs tasa de corte.

b) Viscosidad aparente vs tasa de corte.

Fuente: Lewis (24).

Los fluidos dilatantes tienen el comportamiento contrario, es decir, la viscosidad aparente aumenta a medida que la tasa de corte aumenta, es mucho menos común que el fluido pseudoplástico. (Gráfica a), como se ve en la figura núm. 25.

Figura núm. 25



Comparación de las viscosidades de fluidos Newtonianos (Lineas A), fluido pseudoplástico (Lineas B) y fluidos dilatantes (Lineas C) a diferentes tasas de corte.

Gráfica a) Tensión de corte vs tasa de corte.

Gráfica b) Viscosidad aparente vs tasa de corte.

Fuente: Lewis (24).

Esto ilustra algunos de los problemas para determinar y comparar las viscosidades aparentes de los fluidos no Newtonianos, como se ilustra en la figura núm. 24; si un viscosímetro fue usado para medir viscosidad a una baja tasa de corte (Número 1 en la figura b), el fluido con una alta viscosidad puede ser representado por la línea B y el fluido con la menor con la línea C; sin embargo, si se mide a una alta tasa de corte (2 en la gráfica b), entonces el fluido con una alta viscosidad se representa con la línea C, por esto es necesario medir la viscosidad aparente a través de un rango confiable de valores de tasa de corte.

El fluido plástico está normalmente definido en términos de la producción de tensión (τ_0) y la viscosidad plástica (μ_p). La principal característica de este tipo de fluidos es que a bajas tensiones de corte (abajo de τ_0) ellos se comportan como sólidos y no se deforman, y cuando una tensión de corte crítica (producción) es alcanzada mas allá de la tensión de corte, el fluido fluirá.

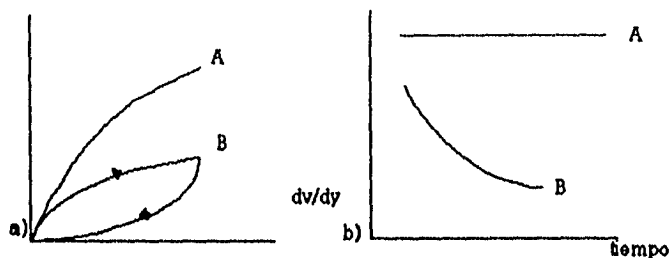
Un fluido plástico Bingham da una relación lineal entre la tensión y la tasa de corte; la viscosidad plástica del fluido es dada por la pendiente de la línea recta.

Un fluido plástico Casson da una curva parabólica, ésta puede ser transformada a una línea recta cuando la raíz cuadrada de la tensión de corte es graficada contra la raíz cuadrada de la tasa de corte.

- Fluidos Dependientes del Tiempo.

Las características de los fluidos no Newtonianos dependientes del tiempo se muestran en la siguiente figura.

Figura núm. 26



Comparación de los reogramas de fluidos independientes del tiempo (Líneas A) y fluidos dependientes del tiempo (Líneas B).

- a) Tensión de corte vs tasa de corte.
- b) Viscosidad aparente vs tasa de corte constante.

Fuente: Lewis (24).

La figura (a) ilustra solo un fluido pseudoplástico pero también es aplicable a fluidos dilatantes. Si los datos de tensión de corte son obtenidos y la tasa de corte aumenta y también la tasa de corte disminuye, los dos tipos de datos coinciden (ilustrados en la línea A). La relación Tensión de corte - tasa de corte está también ilustrada para fluidos independientes del tiempo sujetos al mismo procedimiento, en este caso, los dos tipos de lecturas no coinciden, éste fenómeno es conocido como histéresis (línea B). De ésta manera, para cualquier tasa de corte fija, existen 2 aparentes viscosidades, dependiendo a que tiempo las lecturas fueron tomadas (24).

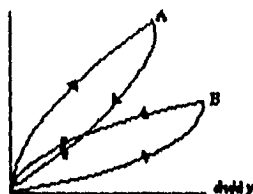
Otra manera de ilustrar esto es por la operación de un viscosímetro a una tasa de corte constante durante un considerable período de tiempo, un fluido independiente del tiempo mostrará una viscosidad aparente constante a una tasa de corte fija, mientras que la viscosidad de un fluido dependiente del tiempo tenderá a cambiar, normalmente rompiéndose (figura b), frecuentemente el valor de equilibrio es obtenido. Si la tasa de corte es removida, el fluido recobrará su estructura, sin embargo, hay diferencias considerables entre los fluidos en ambos casos, el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio y la tasa a la cual ellos recuperan su estructura.

El tipo más común de comportamiento dependiente del tiempo es ilustrado en la figura número 27.

Los fluidos tixotrópicos (línea A) muestran un rompimiento en su estructura con una aplicación continua de una tensión de corte, mientras que las sustancias reopécticas (línea B) muestran un levantamiento en su estructura. Ejemplos de fluidos tixotrópicos son la mayoría de las cremas.

Por lo tanto, cuando medimos fluidos dependientes del tiempo, es necesario definir exactamente las condiciones bajo las cuales la muestra fue medida, para que los resultados sean reproducibles, esto incluye las condiciones de corte y la duración de la tasa de corte (24).

Figura núm. 27



Fuente: Lewis (24).

3.5.8 Métodos para determinar la viscosidad

- Método de Flujo de Línea de Vapor.

Se determina haciendo pasar un fluido a través de un tubo horizontal, bajo condiciones de flujo de línea de vapor, la viscosidad es determinada por la relación entre la caída de presión y la tasa de flujo volumétrico.

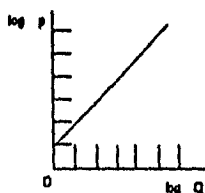
$$Q = \frac{p \times D^4}{128 L \mu}$$

Donde:

- Q = Tasa de flujo volumétrico.
- p = Caída de presión (P2 - P1)
- D = Diámetro.
- μ = Viscosidad dinámica.
- L = Longitud del tubo.

Graficando caída de presión vs tasa de flujo volumétrico, como vemos en la figura núm. 27, ambas en coordenadas logarítmicas y da una relación de una línea recta, con una pendiente de 1, probablemente se trate de un fluido Newtoniano, y si la relación no es lineal, indica que probablemente es un fluido no Newtoniano o un flujo turbulento.

Figura núm. 28



Fuente: Lewis (24).

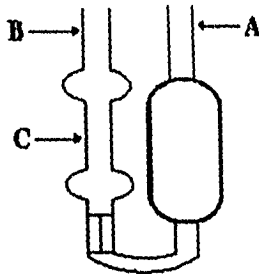
Para saber de que se trata, se reduce el diámetro del capilar y si el fluido presenta una baja viscosidad, probablemente se trate de un fluido Newtoniano y flujo turbulento; y si el fluido tiene alta viscosidad se dice que es no Newtoniano (24).

Si el fluido es no Newtoniano, es usado el viscosímetro de flujo capilar.

- Viscosímetros de flujo capilar

Normalmente tienen la forma de tubos en forma de U, siendo el mas común el de Ostwald, que se muestra en la figura núm. 29

Figura núm. 29



Fuente: Manual de uso del Brookfield (6).

El tubo es llenado exactamente con el fluido hasta el nivel de la marca A, el fluido es jalado hasta el otro extremo del tubo capilar hasta la marca B, entonces la muestra fluirá a través del tubo capilar, bajo la influencia de la presión, se toma el tiempo que tarda en pasar de la línea B a la línea C; multiplicando este tiempo por la constante de cada instrumento, se determina la viscosidad cinemática.

El tiempo que tarda es directamente proporcional a la viscosidad dinámica e inversamente proporcional a la viscosidad del fluido.

Debido a que el tiempo es dependiente de la densidad y de la viscosidad del fluido, los viscosímetros de flujo capilar dan una lectura directa de la viscosidad cinemática. Este tipo de viscosímetro es ideal para determinar la viscosidad a muestras con bajas viscosidades, como agua, solventes orgánicos, soluciones diluidas de leche etc. (26).

- Viscosímetros de caída de esfera

Cuando un objeto cae a través de un fluido, es sujeto a un gran número de fuerzas; en dirección hacia abajo está la fuerza de gravedad, y hacia arriba está una viscosidad de arrastre y un levantamiento (igual al peso del fluido desplazado por el objeto). Cuando el equilibrio es alcanzado, las fuerzas de arriba y abajo están balanceadas y el objeto se mueve a una velocidad constante y mediante una relación se conoce la viscosidad dinámica.

Este tipo de viscosímetro es usado para determinar la actividad de la α amilasa en distintos tipos de trigo, entre mas activa, mas rápido convierte una suspensión viscosa de almidón en una solución de azúcar menos viscosa (24).

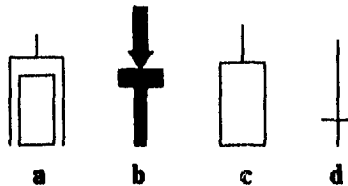
- Viscosímetros rotacionales.

Se ha visto que para caracterizar un fluido no Newtoniano, es necesario determinar la viscosidad a distintas tasas de corte; para lograr esto se usan este tipo de viscosímetros que a continuación describiremos más ampliamente.

3.5.9 Viscosímetros rotacionales

Los viscosímetros rotacionales pueden ser de varias formas, los tipos más comunes se ilustran en la siguiente figura.

Figura núm. 30



Tipos de sistemas de medición usados en viscosímetros rotacionales:

- a) Cilindro concéntrico
- b) Cono y plato.
- c) Aguja Sencilla.
- d) Piezas de aguja en forma de T. (Para fluidos con alta viscosidad).

Fuente: Lewis (24).

El viscosímetro de Brookfield es del tipo de aguja sencilla, es fácil de limpiar, de usar y razonablemente exacto, siendo usado ampliamente en la industria alimenticia, ya que es útil para determinar la viscosidad de fluidos con baja viscosidad, pastas y suspensiones siendo probablemente el instrumento más usado en las industrias que utilizan y manufacturan almidones (6).

El Viscosímetro de Brookfield sincro-eléctrico tiene un cilindro rotatorio o un disco acoplado, a través de un resorte de torsión, a una velocidad constante con motor sincronizado, aplicando el resorte una fuerza de regreso de balanza a la resistencia ofrecida por la muestra viscosa al vástago de rotación, es decir, se va a medir el torque necesario para superar la resistencia de la viscosidad a que gira el vástago (6).

El torque resultante, en centipoise (cp) es leído directamente en un disco o por conversión en tablas. La operación es limitada a pastas o fluidos semisólidos donde el fluido alrededor de los vástagos puede tomar lugar por otro lado, el vástago rota en un hoyo que el mismo hace. El viscosímetro de Brookfield es capaz de medir viscosidades aparentes en un rango de 1 a 64 MM cp (6).

Las medidas de viscosidad a distintas tasas de corte permite la determinación de la dilatancia, tixotropía y otras propiedades reológicas de pastas de almidón no Newtonianas (49).

La viscosidad de fluidos no Newtonianos puede depender de la tasa de corte en la cual es medido, ésta tasa de corte va a depender de la velocidad en la cual el vástago rota y en

menor grado de la forma del vástago. Es decir, en una agitación, la tasa de corte es proporcional a la velocidad rotacional, mientras que en una situación de flujo (Viscosímetro de Ostwald) la tasa de corte está en función de v/D , donde v es la velocidad y D es el diámetro (8,24).

Para una serie de mediciones que se hacen a más de una velocidad usando un vástago en particular, la tasa de corte es directamente proporcional a las RPM a las cuales la determinación es realizada, por lo tanto, la deflexión o desviación de la aguja es directamente proporcional a la fuerza de corte (6).

Para seleccionar la velocidad y el vástago correcto para un fluido en especial es necesario hacer prueba y error (24).

Un decremento en 2 lecturas a una velocidad constante (RPM) es una indicación de que la viscosidad está decreciendo, esto puede deberse a:

- Cambios físicos en el material a probar por la adición de solventes.

- Un incremento en la temperatura.

- A tixotropía (definida formalmente como "una transición reversible gel - sol - gel"), éste factor puede ser fácilmente diferenciado de los 2 primeros factores (6).

Para obtener unas mediciones confiables del viscosímetro de Brookfield modelo LV se deben de hacer las siguientes consideraciones:

- El viscosímetro debe estar nivelado cuando se usa. El bulbo de nivel del instrumento es el que nos da este parámetro.

- Cuando se hacen medidas de viscosidad el vástago debe de estar situado en el centro del recipiente que contenga la muestra, esto es de particular importancia cuando se usan vástagos con un diámetro ancho.

- Para un material fluido de una viscosidad dada, la resistencia a la rotación de los vástagos será mayor a medida que aumente:

 - a) Tamaño de vástago.

 - b) Velocidad de rotación.

- El mínimo rango de viscosidad se obtiene utilizando el vástago más grueso (1) a la velocidad más alta (60 RPM).

- La temperatura debe mantenerse constante durante la determinación, esto es por el efecto tan marcado que tiene ésta sobre la viscosidad.

- Para obtener unas mediciones confiables, deben de tomarse solo los valores que estén entre 10 y 90 del disco graduado (de 0 a 100), ya que los demás valores (de 0 a 10 y de 90 a 100) pueden darnos resultados erróneos (6).

- Cuando los datos de viscosidad sean obtenidos, debe de citarse el número de modelo, el tamaño de vástago, la velocidad rotacional y la temperatura a la que fue hecha la determinación (24).

Los resultados son normalmente presentados en la forma de viscosidad aparente en contra de velocidad rotacional.

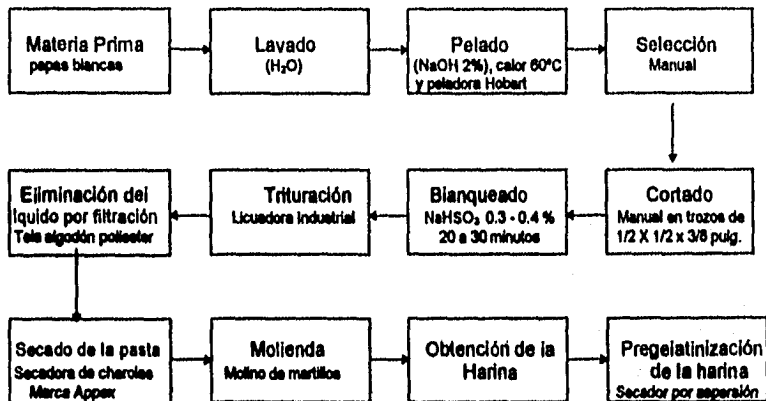
Capítulo IV Diseño experimental y metodología

4.1 Diseño experimental

Como se comentó en el Capítulo I, la finalidad del proyecto es el crear un proceso para la obtención de la harina de papa distinto al europeo y al norteamericano. Las variantes de este nuevo proceso propuesto seguramente le conferirán características bromatológicas, fisicoquímicas y reológicas diferentes a las de la harina comercial.

En este proceso se elimina la etapa de escaife de las papas peladas y se somete a un proceso de trituración en un licuadora industrial para formar una pasta la cual se exprime por un sedazo de tela, para obtener una pasta con menor contenido de humedad, la cual se seca en un secador de charolas y los gránulos obtenidos son molidos en molino de martillos. A continuación se esquematiza el diagrama de bloques.

Diagrama de bloques del proceso de obtención de harina de papa y pregelatinización



Para obtener un producto de óptima calidad se manejarán las siguientes variables:

- A) Tipo de agente blanqueante
- B) Concentración del agente blanqueante
- C) Tiempo de contacto con la materia prima
- D) Temperatura de secado
- E) Tiempo de secado

Una vez determinadas las condiciones del proceso se pasará a la elaboración del producto a nivel planta piloto, a los diferentes lotes obtenidos de producto se les realizarán los siguientes análisis con el fin obtener sus características.

- A) Análisis bromatológico de los lotes obtenidos (humedad, proteína, cenizas, grasa y carbohidratos)
- B) Análisis bromatológico del subproducto del proceso ("líquido de desperdicio")
- C) Análisis fisicoquímico de los lotes obtenidos (A_w , pH, color, reductores, directos y SO_3 residual)
- D) Rendimiento del proceso
- E) Análisis reológico de la harina comparándola con otras harinas como es la harina de trigo, arroz, maíz y en especial con almidón de papa

Después de haber encontrado cual es la harina pregelatinizada se realizarán análisis para determinar el resultado de la pregelatinización

- A) Análisis microscópico
- B) Análisis reológico (viscosidad dinámica - viscosímetro de Brookfield)
- C) Color

4.2 Metodología

4.2.1 Determinación del agente blanqueante, concentración, tiempo de inmersión y temperatura de secado

En la industria alimentaria se utilizan como parte fundamental de algunos procesos los agentes blanqueantes. En este proyecto además se determinará el tipo de agente blanqueante se determinará el tiempo que debe estar el agente en contacto con la materia prima; así como la concentración a la que se prepara la solución blanqueante.

La temperatura de secado también es fundamental ya que si es muy elevada se pueden caramelizar los carbohidratos presentes y verse afectados el color de los productos finales. Los rangos de concentración de los distintos agentes fueron previamente determinados en el laboratorio, quedando por establecer las condiciones ideales para obtener un producto con las mejores cualidades de color. A continuación se resume en una tabla los 20 lotes propuestos donde se ven las distintas condiciones de proceso:

Tabla núm. 14

Características de selección de los agentes blanqueantes

Agente Conc Tiempo Temperatura Pelado
 blanqueante % minutos °C

Lote 1	SO ₂	0.3	30	50	manual
Lote 2	SO ₂	0.3	20	50	automático
Lote 3	SO ₂	0.3	20	60	automático
Lote 4	SO ₂	0.3	30	50	automático
Lote 5	SO ₂	0.3	30	60	automático
Lote 6	SO ₂	0.4	30	50	manual
Lote 7	SO ₂	0.4	20	50	automático
Lote 8	SO ₂	0.4	20	60	automático
Lote 9	SO ₂	0.4	30	50	automático
Lote 10	SO ₂	0.4	30	60	automático
Lote 11	Calor	50 °C	5	50	manual
Lote 12	Calor	50 °C	10	50	manual
Lote 13	Calor	50 °C	2	50	manual
Lote 14	Ac. Cítrico	5	20	50	manual
Lote 15	Ac. Cítrico	5	30	60	manual
Lote 16	Ac. Cítrico	10	20	50	manual
Lote 17	Ac. Cítrico	10	30	60	manual
Lote 18	Na Cl	0.3	30	50	manual
Lote 19	Na Cl	1.0	30	60	manual
Lote 20	Na Cl	2.5	30	50	manual

Para la determinación del agente blanqueante, la concentración y el tiempo de aplicación, se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

- A) Se oscureció
- B) No se oscureció
- C) Ningún tipo de alteración fisicoquímica y sensorial (cambio de pH, gelatinización, cambio de sabor u olor)

Se procederá a la elaboración de los lotes que cumplan con los incisos B y C.

4.2.2 Curva de secado

Después de realizada la selección del agente blanqueante y sus condiciones de aplicaciones se determinara el tiempo el tiempo de secado entre dos temperaturas que son 50 y 60°C para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

Se ponen 30 charolas a peso constante debidamente marcadas, se pesa en cada una de ellas de 1 a 2 gramos de la pasta a secar. Se colocan en la estufa o secadora, previamente controlada la temperatura a 50 o 60°C según sea el caso.

Se sacan cada 15 minutos 3 charolas de una estufa marca Riossa, se enfrían en el desecador y se pesan. Se determina la humedad en cada período de 15 minutos hasta que esta no varíe 0.001 gramos entre pesada y pesada.

Ya obtenidos los datos a 50 y 60°C, se realizará la gráfica para obtener la curva de secado tiempo vs. humedad.

Una vez determinadas las condiciones de secado y acondicionamiento se procede a el escalamiento a nivel planta piloto de los lotes seleccionados para su procesamiento como se menciona en la metodología de obtención de harina.

4.2.3 Obtención de la harina

a) Se lavan las papas con agua suficiente para eliminar los excesos de tierra, polvo y posible materia orgánica indeseable.

b) Se someten las papas a un escaldado en una solución al 2% de NaOH a una temperatura de 60°C, durante 2 minutos, esto es con el fin de ablandar las cáscaras y eliminar lo mayor posible los "ojos".

c) Se decanta la solución de NaOH y se pasa la materia prima a una peladora marca Hobart (modelo 8.8115, Brasil) y con agua a chorro se efectúa el pelado.

Cuando el pelado es manual, no se somete la materia prima a escaldado, sino que después del lavado, se pasan directamente a el pelado con un pelapapas, hasta eliminar toda la cáscara y los "ojos".

Las papas que presenten un estado de madurez avanzado, tardío (verdes) o que presenten daños, deberán ser eliminadas.

d) Rápidamente se cortan las papas en una cortadora manual en trozos de aproximadamente 1/2 x 3/8 x 3/8 de pulgada.

e) Se sumergen los cubos de papa en una solución de NaHSO₃ al 0.3 o 0.4% durante 20 o 30 minutos, según la tabla anterior.

f) Pasado este tiempo, se decanta la solución de NaHSO₃ y se pasan los cubos a una licuadora industrial, hasta obtener una pasta uniforme con una humedad aproximada del 80%.

g) Se filtra la pasta a través de una tela de algodón-poliéster para eliminar el agua en exceso y algunas proteínas, hasta obtener una pasta con una humedad aproximada del 48-50%. Se guarda el agua del filtrado para analizarla.

h) Se seca la pasta una vez filtrada en una secadora de charolas marca Apex Construction (LTD Chemical Engineers) a 50 o 60°C, dependiendo del lote, hasta una humedad del 5 - 8%.

l) Una vez obtenida la harina seca en forma de gránulos se muele y se tamiza en un molino marca Scientific Apparatus Philadelphia U.S.A., para obtener la harina ya en forma de polvo.

4.2.4 Análisis de la materia prima, harina y subproductos.

A) Análisis bromatológico

1) El análisis bromatológico de la materia prima y de la harina consiste en las siguientes determinaciones:

- a) Humedad (AOAC 7.007) Estufa Riossa (0 - 300°C) México
- b) Proteína (AOAC 2.057) Micro Kjehndal Labconco rapid distillation unit USA
- c) Cenizas (AOAC 7.009) Box Type Muffle Furnace Lab Heat Electric Co. USA
- d) Grasa (AOAC 7.058) Equipo Soxhlet
- e) Carbohidratos (por diferencia)

*en todos los análisis (Balanza Analítica Digital OHAUS modelo GA200 N.J U.S.A.).

2) Del agua de desperdicio o del filtrado se toma una alícuota de 50 ml. y se procede a secarse en baño maría hasta obtener un producto casi seco, posteriormente se meterá a la estufa hasta que quede a peso constante el extracto. Se pesa y se determina la cantidad de extracto seco por kilo de papa (se debe conocer el volumen de líquido resultado del filtrado). Al extracto se le realizará el análisis bromatológico por los métodos mencionados en las harinas.

B) Análisis fisicoquímico de las harinas

- a) Azúcares reductores (16)
- b) pH.- Se prepara una solución al 10% de la muestra, se agita y se mide el pH. (potenciómetro marca Expandomatic SS-2 Beckman)
- c) Actividad acuosa (Aw) (Higrómetro marca Decagon modelo CX-1) (10, 17)
- d) Bisulfito residual (18)
- e) Color (Optical Sensor Hunter Lab D 25-PC 2 USA) (20)

Con los datos obtenidos en los análisis anteriores se realizarán las siguientes gráficas:

- Efecto del contenido de humedad en la Aw.
- Gráfica comparativa de color entre los 10 lotes, harina comercial de papa y harina de trigo.
- Efecto de la temperatura de secado y tiempo de inmersión en la concentración final de bisulfito en los 10 lotes.

C) Rendimiento del proceso.

D) Análisis reológico de las harinas

Preparación de las muestras:

Se preparan 300 ml. de una suspensión al 3, 4, 5 y 6% de cada una de las harinas seleccionadas (se escogen cuatro muestras diferentes para compararlas entre sí), se calientan con agitación constante hasta que gelatinicen, se mantiene el calentamiento hasta llegar a 85 - 90°C, y se mantiene ahí por 15 segundos, enfriar el gel hasta una temperatura de 25°C. (Enfriar lentamente, ya que puede ocurrir una precipitación.)

Medición:

Ya que el gel está a 25°C. se mide la viscosidad dinámica con el viscosímetro de Brookfield, según el manual del mismo. (6) Una vez obtenidos los datos de viscosidad se realizan las siguientes gráficas:

- Viscosidad dinámica (η) de uno de los lotes comparándolo con harina trigo, arroz, maíz y almidón de papa a 4 distintas concentraciones (3,4,5 y 6%).

- Efecto de la concentración en la viscosidad.

- Viscosidad dinámica de cuatro distintos lotes a 4 diferentes concentraciones (3,4,5 y 6%).

* (Viscosidad dinámica es viscosidad aparente vs. tasa de corte)

4.2.5 Obtención del pregelatinizado

Ya elaborados y analizados los lotes de harina, se seleccionará el que tenga las mejores características bromatológicas, fisicoquímicas y reológicas, para someterlo al proceso de pregelatinización (23).

Preparar una suspensión de harina en agua al 10% en peso.

Calentar la suspensión con agitación constante hasta una temperatura de 45-50°C. sin llegar a la gelatinización total.

Esta suspensión caliente se bombea hacia el secador por aspersion de disco (Niro atomizer, N.J USA) manteniendo la temperatura constante.

La alimentación, la velocidad del disco y la temperatura de secado se determinarán durante el experimento.

Análisis del pregelatinizado.

A) Análisis microscópico (47) (Microscopio Olympus 100X)

B) Análisis Reológico (Viscosímetro de Brookfield modelo L.V) (49)

C) Color Optical Sensor Hunter Lab D 25-PC2 (20)

4.2.6 Análisis de Varianza

Después de haber obtenido los resultados de los análisis bromatológico y fisicoquímico, se realizará un ANDEVA (análisis de varianza), para encontrar si existen diferencias significativas entre los lotes, si la F obtenida (F indica la magnitud de la diferencia entre los lotes en relación con la magnitud de la variación entre cada lote) en cada caso es mayor a la

encontrada en tablas, es que existe una diferencia significativa, por lo que se recurrirá a la DSH de Tukey (diferencia significativa honesta) para saber entre que lotes existe dicha diferencia.

El hecho de realizar un ANDEVA dentro de nuestra investigación requiere de la creación de dos hipótesis, una nula y una de investigación, si la F obtenida en tablas es menor que la F calculada se rechaza la hipótesis nula y se acepta la de investigación.

Hipótesis para el análisis bromatológico

Hipótesis nula.- De los 10 lotes a obtener no habrá diferencia en sus características bromatológicas.

Hipótesis de Investigación.- De los 10 lotes a obtener sí habrá diferencia en sus características bromatológicas.

Hipótesis para el análisis fisicoquímico

Hipótesis nula.- De los 10 lotes a obtener no habrá diferencia en sus características fisicoquímicas.

Hipótesis de Investigación.- De los 10 lotes a obtener sí habrá diferencia en sus características fisicoquímicas.

Las tablas y fórmulas utilizadas aparecen en el apéndice 1.

Capítulo V Resultados y discusión de resultados

Después de haber obtenido los resultados de los experimentos y del análisis de varianza, es conveniente analizar estos y discutirlos.

5.1 Determinación del agente blanqueante, concentración, tiempo de inmersión

Tabla núm. 15

Efecto de los agentes blanqueantes sobre los lotes 1 a 20

Lote 1	No se oscureció
Lote 2	No se oscureció
Lote 3	No se oscureció
Lote 4	No se oscureció
Lote 5	No se oscureció
Lote 6	No se oscureció
Lote 7	No se oscureció
Lote 8	No se oscureció
Lote 9	No se oscureció
Lote 10	No se oscureció
Lote 11	No se oscureció
Lote 12	No se oscureció
Lote 13	No se oscureció
Lote 14	No se oscureció
Lote 15	No se oscureció
Lote 16	No se oscureció
Lote 17	No se oscureció
Lote 18	Se oscureció
Lote 19	Se oscureció
Lote 20	Se oscureció

5.1.1 Bisulfito de sodio

De acuerdo a los resultados que se muestran en la tabla 15, el SO_3 resultó ser el mejor agente blanqueante por las siguientes razones:

- a) Evita el oscurecimiento enzimático y no enzimático
- b) No produce cambios fisicoquímicos en las pastas
- c) No imparte sabor
- d) Se requieren muy bajas concentraciones
- e) No ocurre oscurecimiento durante el secado y el almacenamiento

Según los datos de color (ver 5.6.5) no existe una diferencia perceptible en usar una solución al 0.3 y 0.4% de SO_3 y un tiempo de inmersión de 20 o 30 minutos, por lo que se recomienda usar una solución al 0.3% por 30 minutos para asegurar el blanqueo.

Se procederá a elaborar los lotes que no sufrieron ninguna alteración en el color y sus características fisicoquímicas y sensoriales, como se indicó en la metodología (4.2.1), que son los lotes 11 a 20

5.1.2 Otros agentes blanqueantes

También en la misma tabla se observó que los demás agentes blanqueantes se descartan por las siguientes razones:

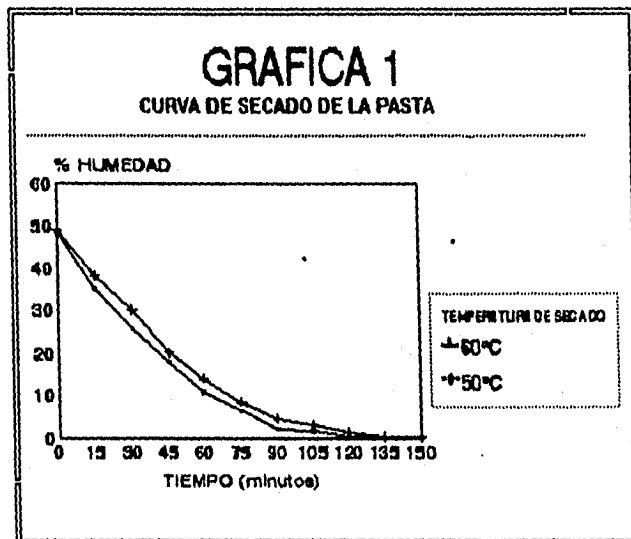
Calor.- No inactiva la enzima PPO a 50°C, y a 70°C hay gelatinización

Ácido cítrico.- El uso de concentraciones al 5 y 10% no fueron suficientes para evitar el oscurecimiento y el utilizar una concentración mayor le imparte sabor al producto, además de ser incosteable por ser un reactivo muy caro.

Cloruro de sodio.- No tuvo ningún efecto sobre la PPO, además de que imparte sabor.

5.2 Curva de secado

La determinación de temperatura de secado se hizo en base a estudios realizados anteriormente, si es a menos de 50°C tarda demasiado tiempo y si es a más de 70°C puede ocurrir una gelatinización, por lo que se utilizaron dos temperaturas de secado 50 y 60°C. La gráfica 1 demuestra que a 50°C se requieren 150 minutos para llegar a una humedad final del 6-7%. Si el secado es a 60°C el tiempo requerido es aproximadamente de 120 minutos. Consideramos que la temperatura óptima de secado debe de ser de 60°C por ser en la que se requiere de menor tiempo y no hay oscurecimiento.



5.3 Rendimiento

Aparentemente el rendimiento del proceso es muy bajo, aproximadamente del 12% (Tabla 17), pero este resultado era de esperarse pues la papa contiene un 80% de humedad aproximadamente (Tabla 16).

Tabla núm. 16

Análisis Bromatológico De La Papa Sin Cáscara

PRUEBA	B. ORIGINAL (%)	B. SECA (%)
Humedad	20.23	0.00
Proteína	2.46	12.44
Cenizas	0.42	2.12
Grasa	0.07	0.36
Carbohidratos	16.82	85.08

Tabla núm. 17

Rendimiento Promedio del Proceso

PROCESO	RENDIMIENTO
Pelado Manual	12.32 %
Pelado Automático	10.35 %

La diferencia entre el rendimiento de los dos procesos de pelado es debida a que en el pelado automático se pierde mas pulpa, ya que es por raspado, mientras que en el pelado manual se puede controlar mas la pérdida de tejido, aunque es obvio que en un proceso industrial no sería funcional un pelado manual.

5.4 Extracto seco del agua de filtrado.

Durante el proceso de exprimido de la pasta se obtiene un agua del filtrado, después de secarse se obtienen 12 g/kg de materia prima (Tabla 18), éste dato es de importancia pues puede representar una diferencia en el rendimiento de nuestro proceso al escalamiento a grandes volúmenes. Al hacer un análisis bromatológico de dicho extracto, vemos que hay una cantidad considerable de proteína (Tabla 19), la cual representa una alta Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), además, esto demuestra la diferencia que existe entre nuestras muestras y las referidas en la bibliografía (3).

Tabla núm. 18

Extracto seco del agua de filtrado

PROCESO	EXTRACTO SECO
Pelado manual	13 g/kg
Pelado automático	12 g/kg

Tabla núm. 19

Análisis Bromatológico del Extracto Seco

PRUEBA	%
Humedad	0.0
Proteína	57.86
Cenizas	20.32
Grasa	20.32
Carbohidratos	21.72

5.5 Análisis bromatológico

Los resultados del análisis bromatológico aparecen en la tabla 20. Según el análisis de varianza, la F de tablas ($F = 2.390.05$) es siempre menor a la F calculada en todos los casos, por lo que estamos aceptando la hipótesis de investigación: "De los 10 lotes a obtener si habrá diferencia en sus características bromatológicas."

Tabla núm. 20

Análisis Bromatológico de los 10 Lotes de Harina

PRUEBA	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	LOTE 4
Humedad	6.94	8.85	7.03	5.74
Proteína	2.71	2.16	2.54	2.13
Cenizas	1.08	0.96	0.95	0.98
Grasa	1.92	2.42	2.32	2.03
Carbohidratos	87.35	87.61	87.16	89.22

PRUEBA	LOTE 5	LOTE 6	LOTE 7	LOTE 8
Humedad	6.86	8.08	8.03	5.98
Proteína	2.14	2.41	2.51	2.42
Cenizas	1.02	1.17	0.99	0.9
Grasa	2.18	1.8	1.89	2.3
Carbohidratos	87.8	86.54	88.58	88.4

PRUEBA	LOTE 9	LOTE 10
Humedad	6.52	6.37
Proteína	2.79	2.3
Cenizas	1.07	0.9
Grasa	2.27	2.23
Carbohidratos	87.35	88.2

5.5.1 Humedad

Según el análisis de Varianza (ANDEVA) la F calculada es 9.25, por lo que se calculó la Diferencia significativa honesta (DSH), con la que se encontraron las siguientes diferencias significativas entre los lotes:

- Lote 6 con los lotes 1,2,3,4,7,8,9 y 10.
- Lote 4 con los lotes 1,3 y 5.

El lote 6 es el que tiene la mayor humedad (8.08%), y el lote 4 es el de menor (5.74%), ésta diferencia tan marcada se atribuye al proceso de exprimido de la pasta, que es manual y en el cual influyen muchos factores; por lo que se debe de buscar un proceso mas controlable para alcanzar una humedad de la pasta del 50% aproximadamente y secarse como se indica en la curva de secado en un periodo de 120 minutos alcanzando una humedad final del 6-7%. A pesar de que el lote 6 tiene una humedad del 8.08%, se esta por debajo de la norma oficial (29-31) por lo que esta protegido el producto de una posible contaminación microbiana.

5.5.2 Proteína

La F calculada es de 6.05, por lo que se calculó la DSH, encontrándose diferencia entre los siguientes lotes:

- Lote 4 con los lotes 1 y 9
- Lote 5 con los lotes 1 y 9
- Lote 2 con los lotes 1 y 9

Esta diferencia es atribuible al estado de madurez, origen, época del año y al proceso de exprimido de la pasta, sin embargo el valor está por debajo del de la papa sin procesar (Tabla 2), con lo que estamos disminuyendo la reacción de Maillard considerablemente, evitando así el oscurecimiento no enzimático, con lo cual nuestro producto tiene un color que no influye para el fin con el que será utilizado; además de alargar la vida de anaquel. La disminución de la cantidad de proteína no es un aspecto relevante para la funcionalidad del producto, ya que no se enfoca como un complemento nutricional, sino como un aditivo espesante.

5.5.3 Cenizas

La F calculada es de 5.027, por lo que se calculó la DSH, y se encontraron diferencias significativas entre los siguientes lotes:

- Lote 6 con los lotes 2,3,8 y 10

Se puede decir que la diferencia entre el lote 6 y los demás lotes es debida a la humedad, así como del estado de madurez, época del año y origen de la materia prima.

5.5.4 Grasa

La F calculada es 5.222, por lo que se calculó la DSH, encontrando las siguientes diferencias:

- Lote 6 con los lotes 2,3,8 y 9
- Lote 7 con el lote 2
- Lote 1 con el lote 2

Como se ha mencionado con anterioridad estas diferencias se atribuyen a factores no controlables como son el estado de madurez, origen y época del año, sin que estos sean relevantes para la funcionalidad del producto.

5.6 Análisis fisicoquímico

Los resultados de este análisis aparecen en la tabla 7. En el análisis de varianza en todos los casos la F calculada es mayor que la F de tablas, a excepción del pH en la que la F calculada es 0 por lo que la hipótesis nula es aceptada sólo en este caso, en los demás análisis se acepta la de investigación.

Tabla núm.21

Análisis Físicoquímico de los 10 Lotes de Harina

PRUEBA	REDUCTORES DIRECTOS (g / 100 g)	pH	Aw (25 °C)	SO ₃
LOTE 1	0.6786	5,6	0,258	15,1
LOTE 2	0.6702	5,6	0,254	13,1
LOTE 3	0.5892	5,6	0,282	11,0
LOTE 4	0.3757	5,5	0,206	15,6
LOTE 5	0.3234	5,7	0,254	12,3
LOTE 6	0.5983	5,6	0,307	18,3
LOTE 7	0.3283	5,6	0,219	17,8
LOTE 8	0.2841	5,6	0,216	14,4
LOTE 9	0.4704	5,6	0,240	18,7
LOTE 10	0.3006	5,6	0,234	15,0

5.6.1 Reductores directos

La F calculada es de 2986, por lo que se calculó la DSH, encontrando diferencias significativas entre los siguientes lotes:

- Lote 8 con los lotes 1,2,3,4,5,6,7,9 y 10
- Lote 7 con los lotes 1,2,3,4,6 y 9
- Lote 10 con los lotes 1,2,3,4,6 y 9
- Lote 4 con los lotes 1,2,3,6 y 9
- Lote 5 con los lotes 1,2,3,4,6 y 9
- Lote 9 con los lotes 1,2,3 y 6
- Lote 6 con los lotes 1,2 y 3
- Lote 2 con el lote 3
- Lote 1 con el lote 3

Como se puede ver existe diferencia significativa entre casi todos lotes, lo cual es debido sin duda al estado de madurez de la materia prima, el tener una concentración de azúcares reductores baja es beneficiosa para disminuir la reacción de Maillard. Pero el efecto mas importante que tienen los azúcares se refleja en una reducción de la velocidad de gelatinización y en la viscosidad final de las pastas de almidón (3).

5.6.2 pH

La F calculada es de 0 por lo que no existe diferencia significativa entre los lotes, por lo que no se calculó la DSH. El hecho de que no exista una diferencia significativa entre los lotes se debe a que no se alteró el pH de las muestras durante todo el proceso.

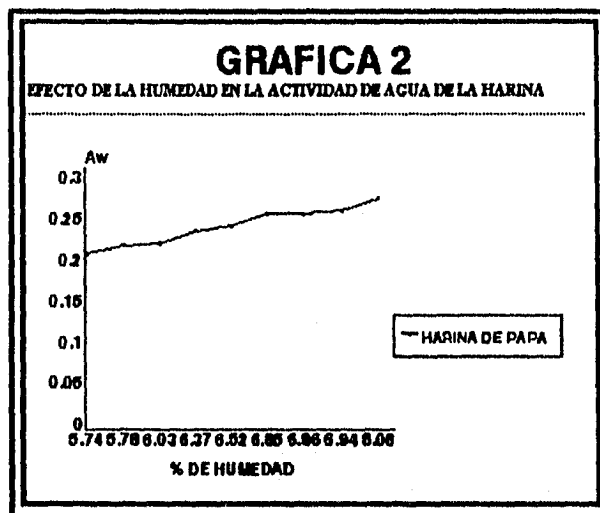
El tener un pH por debajo de 7 también contribuye a la estabilidad microbiológica del producto. Si el pH es menor que 5 y mayor que 7 se ve afectada la velocidad y la intensidad del hinchamiento de los gránulos de almidón (3). Referencias de la bibliografía indican que el rango óptimo de actividad de la polifenol oxidasa es de 5 a 7, pero éste hecho no afecta el oscurecimiento del producto por la oportuna adición del SO₃ (41).

5.6.3 Actividad de agua (Aw)

La F calculada es de 39.09 por lo que existe diferencia significativa entre los lotes y se calcula la DSH, encontrando las siguientes diferencias:

- Lote 4 con los lotes 1,2,3,5,6,9 y 10
- Lote 8 con los lotes 1,2,3,5,6 y 9
- Lote 7 con los lotes 1,2,3,5 y 6
- Lote 10 con los lotes 1,3 y 6
- Lote 6 con los lotes 1,2,3,6 y 9

La diferencia que existe en la Aw entre los lotes es debida a la diferencia en el contenido de humedad, y se observa en la gráfica de resultados una relación directamente proporcional en el aumento de la Aw conforme aumenta el % de humedad (Gráfica 2). La Aw es un parámetro fundamental para la conservación del producto y prolongar la vida de anaquel, recomendándose que oscile entre 0.4 y 0.5 que son las condiciones ideales para aumentar la vida de anaquel (18).



5.6.4 Bisulfito residual (SO₂)

La F calculada es de 6.68, por lo que existe diferencia significativa entre los lotes y se calcula DSH encontrando diferencias entre los siguientes lotes:

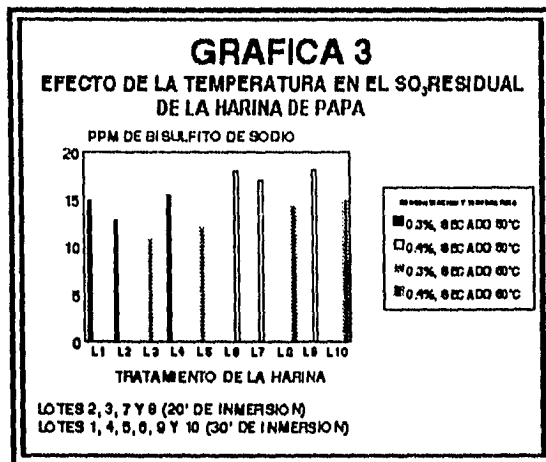
- Lote 3 con los lotes 6,7 y 9
- Lote 5 con los lotes 6,7 y 9
- Lote 2 con los lotes 6 y 9
- Lote 1 con el lote 9

La diferencia de los lotes es debido a 2 factores básicamente, que son la concentración de la solución blanqueante de SO₂ y la temperatura de secado (Gráfica 3), ya que según en la revisión bibliográfica a mayor temperatura de secado existirá mayor desprendimiento de SO₂(22).

Se puede observar en los resultados que del lote 1 al 5 donde la concentración es del 0.3% los valores de SO_3 residual son los más bajos y del lote 6 al 10 son los más altos.

Si se analizan los resultados del lote sometido a la solución al 0.4% y secado a 50°C es el que presenta la mayor concentración de SO_3 residual, a diferencia de los lotes sometidos a la solución al 0.3% y un secado a 60°C presentan los valores más bajos de SO_3 residual.

Es importante resaltar el hecho de que todas las muestras están por debajo de valor permisible que es de 300-600 ppm de SO_3 en producto seco sin que esto afecte la blancura del producto terminado (22).



5.6.5 Color

La F calculada es de 6.68 por lo que existe una diferencia significativa entre los lotes y se calcula la DSH encontrando una diferencia entre los siguientes lotes:

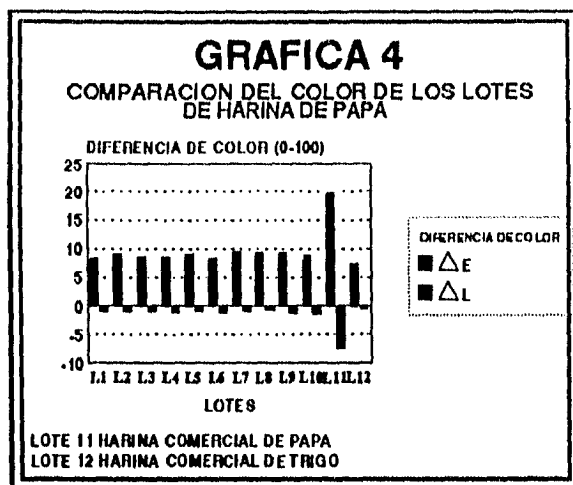
Lote 9 con los lotes 1,2,3,4,5,6,7,8 y 10

Lote 10 con los lotes 1,2,3,4,5,7 y 8

Lote 6 con los lotes 1,2,3,5,7 y 8

Lote 6 con los lotes 1,2,4,5 y 7

Esta diferencia de color entre la mayoría de los lotes se puede atribuir a los siguientes factores: Cantidad de proteína, reductores directos, bisulfito y temperatura de secado. La relación reductores-proteína está relacionada con la reacción de Maillard, y como son componentes muy variables por lo explicado anteriormente (Estado de madurez, época del año, etc.) el color es también difícil de controlar. La escala de blancura es de 0 - 100 y a excepción del lote 9 (89.5) todos tienen más de 90 de blancura, por lo que en un análisis sensorial la diferencia de color sería nula, a pesar de que el ANDEVA nos indica diferencias significativas entre los lotes; cabe mencionar que los lotes tienen una blancura mayor que la harina de trigo comercial (Gráfica 4).



5.7 Análisis reológico

Sin duda el analizar con mayor detenimiento los resultados de las pruebas reológicas constituyen la parte medular de este trabajo, ya que la finalidad del producto es el aumento de la viscosidad en algún sistema ya sea alimenticio o no alimenticio.

5.7.1 Comparación reológica de 4 diferentes lotes

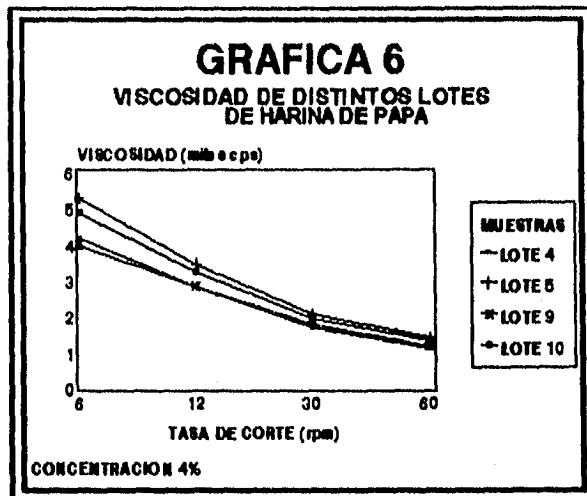
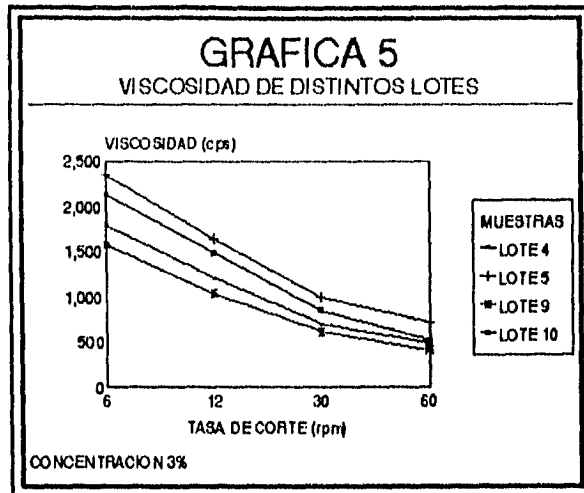
Para conocer el comportamiento de los diferentes lotes, se eligieron 4 de ellos, lote 4, 5, 9 y 10. La elección fue en base a la concentración de bisulfito y la temperatura de secado:

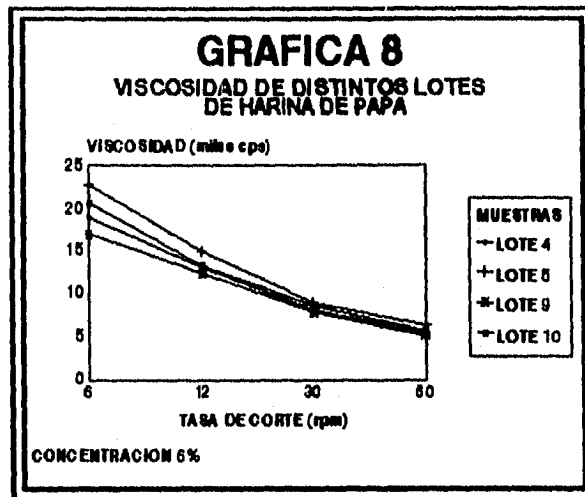
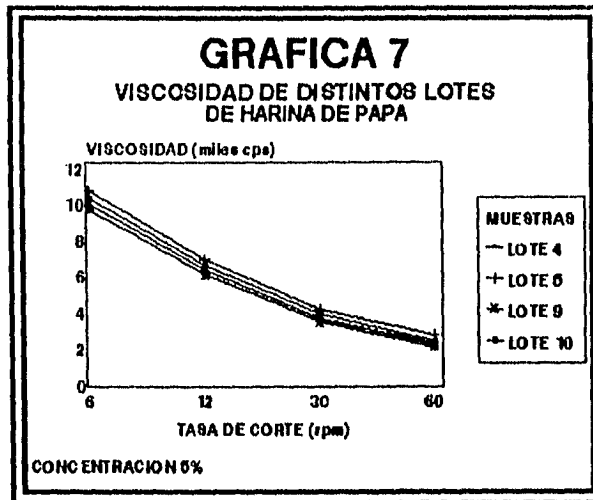
Tabla núm. 22

Comparación reológica de 4 diferentes lotes

	Conc de SO ₃ (%)	Temp de secado (°C)
Lote 4	0.3	50
Lote 5	0.3	60
Lote 9	0.4	50
Lote 10	0.4	60

Las gráficas 5, 6, 7 y 8 representan los resultados de los lotes anteriores de viscosidad aparente vs tasa de corte, las concentraciones de la harina son 3, 4, 5 y 6 % respectivamente, y en todas se observa el mismo comportamiento: la viscosidad disminuye conforme aumenta la tasa de corte.





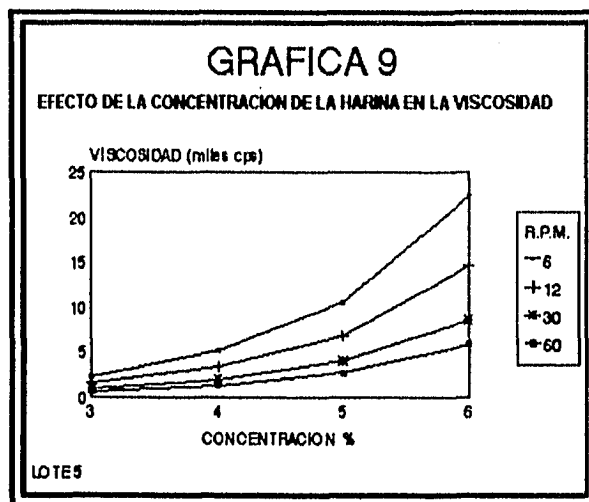
El lote 5 fue el que presentó una mayor viscosidad, siguiéndole en orden descendente los lotes 10, 4 y 9.

Esta diferencia de viscosidades se puede atribuir a la presencia de otros componentes de la harina como son proteínas, minerales, grasa, etc. Como nuestro proceso tiene algunas deficiencias estas diferencias en los resultados no son posibles de controlar. Sin embargo se puede observar que los lotes 5 y 10 que fueron secados a 60 °C presentaron las mayores viscosidades y los lotes 4 y 9 que se secaron a 50 °C presentaron las menores viscosidades.

El comportamiento de la harina ya se ha definido, a mayor tasa de corte menor viscosidad por lo que se define a la pasta como un fluido no newtoniano además de pseudoplástico (24).

5.7.2 Efecto de la concentración en la viscosidad

Por lo observado con anterioridad, de aquí en adelante vamos a utilizar para los siguientes análisis el lote 5, que presenta la mayor viscosidad, se usa la menor cantidad de SO_3 , sometiéndose a 30 minutos de inmersión, lo cual asegura el efecto del agente blanqueante.



En la gráfica 9 se observa un aumento de la viscosidad al aumentar la concentración de harina en la pasta, y también una disminución en la viscosidad al aumentar la velocidad del vástago, con lo que se confirma el comportamiento no Newtoniano de nuestro producto.

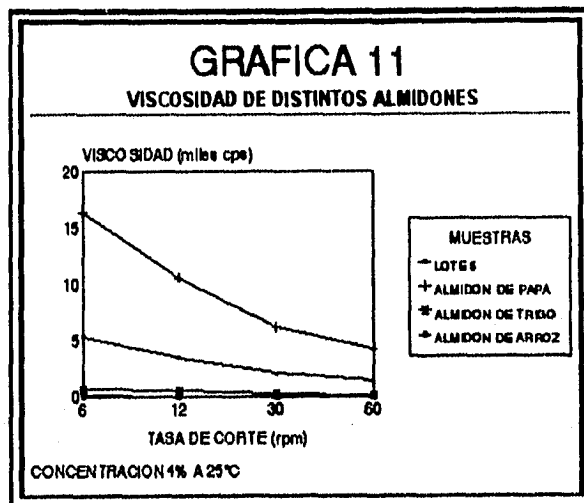
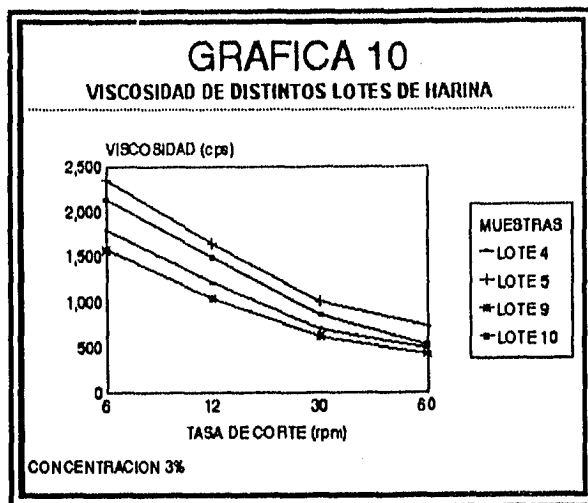
5.7.3 Comparación de diferentes pastas de almidones.

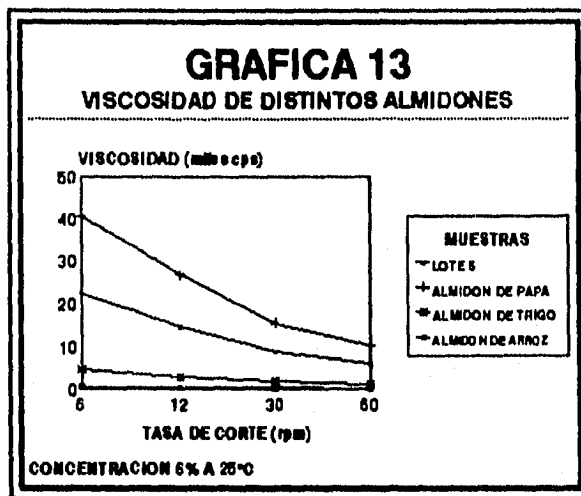
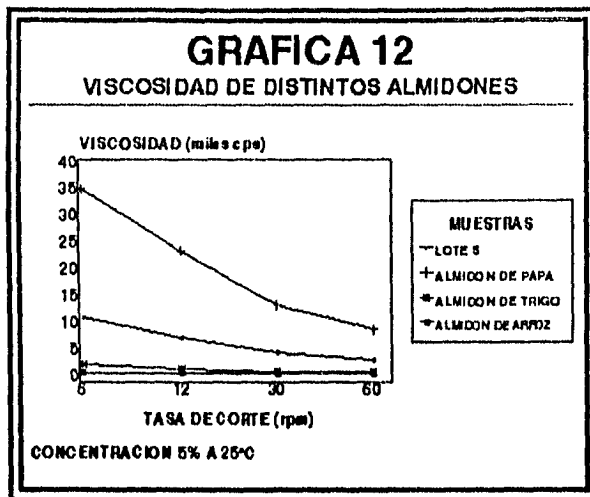
Las gráficas 10, 11, 12 y 13 representan una comparación de la viscosidad de las siguientes muestras:

Lote 5
Almidón de papa (almexMR)
Harina de trigo
Harina de arroz

Manteniendo constante en cada gráfica la temperatura ($25^{\circ}C$) y la concentración, que fue del 3,4,5 y 6% respectivamente.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA






Sin duda el almidón de papa (puro) fue el que presentó la mayor viscosidad a cualquier tasa de corte, siguiéndole en orden descendente el lote 5, la harina de trigo y la de arroz.

La diferencia que existe entre el almidón de papa y el lote 5 se puede deber a la presencia de sólidos que compiten por el agua disponible en la solución, además, nuestra muestra es sometida a dos etapas donde sufre daño mecánico (trititación y molienda), que afectan la estructura del gránulos de almidón disminuyendo sus propiedades de gelatinización, sin embargo existen ventajas reológicas (menor temperatura de gelatinización, menor grado de retrogradación, mayor viscosidad dinámica) sobre las otras dos muestras.

5.8 Análisis del pregelatinizado

Para saber si es que hubo la modificación buscada se requiere de 2 análisis básicamente que son el microscópico y reológico, además se hace la prueba de color para confirmar que no hubo alteraciones que afecten la funcionalidad del producto.

TABLA 23	
RESULTADOS DE LA PREGELATINIZACION DE LA HARINA DE PAPA	
Microscópico	
	El análisis microscópico de los granulos pregelatinizados revela n la siguiente imagen
	
Color	
	La diferencia total de color fue de 8.58
Reología	
	Al adicionar agua fría al polvo obtenido se forma un gel de viscosidad menor a la harina (ver gráfica 14)

5.8.1 Microscópico

Los gránulos de almidón nativo tienen una forma ovoidal con estrías concéntricas pronunciadas, lo cual les da una apariencia de ostras. El gránulo modificado presenta una estructura cúbica de menor tamaño con el espectro de tener aire atrapado, estas evidencias demuestran la modificación que sufrió el gránulo de almidón.

5.8.2 Color

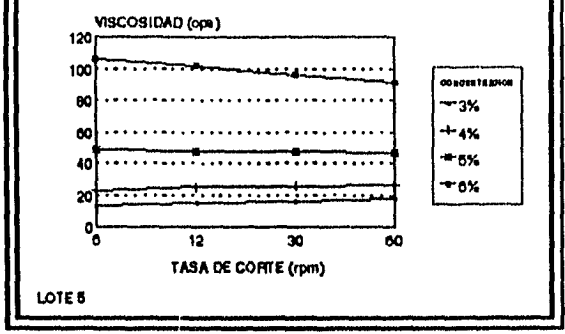
Después del proceso de pregelatinizado en el secador, se obtiene un polvo fino, el análisis de color realizado en el Hunter, nos da una lectura de $E=8.58$, mientras que el lote 5 presentó una $E=9.27$. A pesar de la reducción en la blancura, ésta no es perceptible a simple vista, por lo que no consideramos una alteración en el color.

5.8.3 Reología

Esta prueba nos demuestra que la viscosidad del gel formado con el pregelatinizado es mucho menor al del almidón nativo a una concentración del 3,4,5 y 6%; según la gráfica 14, a concentraciones bajas de harinas la viscosidad aumenta conforme aumenta la tasa de corte, efecto contrario al observado en la harina sin modificar, y conforme se va aumentando la concentración, tiende a comportarse como la harina original. Cabe mencionar que la formación del gel por la adición de agua fría al polvo es instantánea sin la presencia de grumos.

GRAFICA 14

VISCOSIDAD DEL ALMIDON DE HARINA DE PAPA PREGELATINIZADO



LOTE 5

Capítulo VI Conclusiones

La creación o modificación de una tecnología para la elaboración de un producto trae consigo una serie de dificultades como son la adaptación de las maquinarias que tengamos disponibles, los recursos humanos y económicos, la disponibilidad de materia prima, y los parámetros establecidos.

Para éste proyecto se propuso un diseño experimental donde se difiere del proceso estadounidense básicamente en tres etapas que son el blanqueo, una trituración previa al secado y una filtración de la pasta triturada.

La primera diferencia radica en que se evita la etapa de escaide, pues ésta no evita la acción de la enzima Polifenol Oxidasa, entonces, después de cortar en cubos la papa, se le somete a la inmersión en una solución de bisulfito. La materia prima es sometida a una trituración después de el proceso de sulfitación (al que llamamos blanqueo) en esta trituración se obtiene una pasta. En el prensado se elimina una considerable cantidad de agua, proteínas y otros componentes solubles. Estas proteínas juegan un papel muy importante dentro de la elaboración de la harina. En primer término, la eliminación de éstos componentes nitrogenados evita de una forma considerable la reacción de oscurecimiento no enzimático (Reacción de Maillard). El "agua de desperdicio", producto de este prensado no puede ser indiscriminadamente tirado al desagüe por que requiere de una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO); según algunos trabajos (5), éstas proteínas podrían ser usadas para la elaboración de productos balanceados para animales de engorda. Como la reacción de Maillard es evitada considerablemente, el color de nuestro producto es casi blanco comparado con el de harina comercial que tiene un color amarillento. Esto representa una gran ventaja pues si se usa como espesante, no le imparte color al producto final.

Estas diferencias en la elaboración de la harina de papa dan un producto con características fisicoquímicas y bromatológicas diferentes a la harina comercial.

Se podría pensar que nuestro producto aparentemente tiene una calidad nutricional baja por la pérdida de proteínas y otros componentes solubles, pero esta harina no tiene como fin el elevar la calidad nutricional de otros alimentos, sino que esta pensado como un aditivo y en específico como espesante. Esto se debe a que el mayor componente de la harina es el almidón, y aunque nuestra harina no tiene la misma viscosidad que el almidón puro de papa (como lo revelaron los análisis reológicos), esto puede ser debido a que hay componentes como proteínas, grasas y minerales que pueden interaccionar con el almidón y competir por el agua disponible durante el proceso de gelatinización. Aún así, la harina presentó mayores viscosidades que los almidones de arroz y trigo.

La papa como materia prima para la producción de harina representa muchas ventajas, pues además de ser un producto muy cultivado en México, el almidón presente en la harina tiene muchas ventajas sobre otros almidones como el de maíz, trigo y arroz como son: Una menor temperatura de gelatinización, un menor grado de retrogradación y geles de mayor viscosidad.

El almidón además de ser usado como espesante, éste puede sufrir una serie de múltiples modificaciones químicas y físicas, para usarse en la industria alimenticia y no alimenticia. El proyecto proponía como modificación del almidón la pregelatinización de los almidones presentes. Se optó que la pregelatinización se hiciera por un secado por aspersión.

Generalmente el proceso de pregelatinización se lleva a cabo con secadores de tambores, pero presenta muchas dificultades si no se domina el proceso. El secado por aspersión también presenta algunas dificultades, pues se alimenta en soluciones muy diluidas y

por supuesto el rendimiento es muy bajo, pero tiene la ventaja de que se obtiene un polvo blanco y estéril, con lo que se evitan contaminaciones con la molienda final ya que esta es evitada, siendo que en el proceso de secador de tambores es necesaria, además, durante esta molienda, pueden sufrir daños mecánicos los gránulos de almidón.

La harina pregelatinizada presenta una viscosidad menor comparada con la harina normal (49), pero el obtener geles en frío representa para muchos productos una ventaja, pues no se necesita calentarlos para espesarlos, como es el caso de los pudines instantáneos.

Una buena opción para ampliar el campo de aplicación de ésta harina sería el hacer otras modificaciones químicas como son almidones catiónicos o de enlaces cruzados.

Retomando el análisis anterior, podemos decir que el producto que obtuvimos tiene una gran aplicación en la industria alimenticia y no alimenticia, independientemente si se modifica o no.

Las principales características que nos dan la funcionalidad de la harina son las reológicas, que en la industria alimenticia mejoran la calidad del producto, pues se mejoran las características sensoriales de los alimentos. Esto también es válido para los pregelatinizados que aunque no pesan igual que el almidón nativo, presentan muchas ventajas.

Creemos que este proceso puede llevarse a cabo a nivel industrial y comercializarse, aunque el rendimiento sea aparentemente bajo (debido a que el 80% de la papa es agua).

Se puede concluir que el proceso de obtención de la harina y su pregelatinizado aquí propuesto tiene deficiencias que se pueden mejorar:

- Crear un sistema de exprimido de la pasta más controlable, después de la trituración, para evitar variaciones en la humedad final del producto y estandarizar el tiempo de secado.
- Estudiar más a fondo la aplicación del método de secado por aspersión para aumentar su rendimiento y bajar los costos de operación, que seguramente serían elevados.
- Determinar la velocidad ideal del disco del secador
- Determinar las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo.

En base a las variables que se manejaron podemos decir que las condiciones óptimas para la elaboración de harina de papa y su pregelatinizado son las siguientes:

- Concentración de la solución de bisulfito de sodio 0.3%
- Tiempo de inmersión de la materia prima en la solución 30 minutos
- Temperatura de secado 60°C
- Tiempo de secado 120 minutos
- Concentración de la suspensión de harina para alimentar el secador por aspersión 10%
- Temperatura de calentado de la suspensión antes de alimentar el secador 50°C (mantener constante).

Capítulo VII Bibliografía

1. Al & Reed's, Inc., Potato Ice Cream., Food Engineering, 60 (7):39,1988
2. AOAC, 1980, "Official Methods of Analysis." 13ava Edición, Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
3. Badui, S. D., Química de los Alimentos., Editorial Alhambra Mexicana S.A. de C.V., Primera Edición, pp. 28, México D.F., 1986.
4. Birch, G. G. & Green, L. F., Molecular Structure and Function of Food Carbohydrate., Applied Science Publishers L.T.D., First Edition, New York, 1973.
5. Brautlecht, C. A., Starch, Its Sources, Production and Uses., Reinhold Publishing Corporation, First Edition, New York, 1953.
6. Brookfield Synchro-lectric Modelo LV, Manual de consulta., Brookfield Engineering Laboratories Inc., 240 Cushing St., Stoughton Massachusetts 02072.
7. Chandra, S. S. & Shurpalekar, S.R., On the Quality of Bread containing differently processed Potato., J. of Food Science and Technol., 21:324-326, 1984.
8. Clark, A. V. & Tannenbaum, S. R., Isolation and Characterization of pigmento from Protein-Carbonil Browning Systems. Isolation, Purification and Propietes., J. Agr. Food Chem., 18 (5):891-894, 1970.
9. Copley, M. J. & Morgan, A. I., Food Dehydration., Van Arsdel Wallace Ed., Second Edition, Chapter 13, pp. 83-157, 1973.
10. Decagon, Modelo CX-1, Manual de Consulta.
11. Desrosier, N. W., Elementos de Tecnología de Alimentos., Editorial C.E.C.S.A., 1era. Edición, México D.F., 1987, pp. 230-242.
12. Fawcett, P., Purely funcional., Artículo de INFOTEC., Food 7 (1):1-3, 1985.
13. Feria, A. M., & Pangborn, R. M., Sensory Attributes of Corn Tortillas with Substitution of Potato, Rice and Pinto Beans., J. of Food Science, 48:1124-1130,1134., 1983.
14. Gattás, V., Hiche, E., Ballester, D. y Yáñez, E., Evaluación Sensorial de Pan con Harina de Papa., Archivos Latinoamericanos de la Nutrición, XXXIII (1): 55-66, 1983.
15. Heldman, D. R. & Singh, R.P., Food Process Engineering., AVI Publishing Company, Inc., Second Edition, Westport Connecticut, 1981.
16. Holm, F. Physical characteristics of an air classified Potato Starch., J. Food Technol. 16:101-113, 1981.
17. Howard A. Strobel, Instrumentación Química, Editorial Limusa, Primera edición, México 1974, pp. 610-611.
18. Howell, N. F., Standard Methods of Chemical Analysis. Vol. 1 Robert E. Krieger Published Company Huntington, N.Y., Sixth Edition, 1975, pp. 1016-1017.

19. Hoyem, T. & Kvale, O., Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing., Applied Science Publisher L.T.D., First Edition, England, 1977, pp. 168-184.
20. Hunter Lab., 45°/0° D25 - PC2 Colorimeter., Instruction Manual, Hunter Associates Laboratory Inc., 11495 Sunset Hills Road, Reston Virginia 22090.
21. James, W. T., Cold Water Dispersible starch and process of preparing it., U.S. Patent 2,865,775 (1958).
22. Kerr, R. W., Chemistry and Industry of Starch., Academic Press Inc. Publisher, Second Edition, New York 1950.
23. Kuchinke, E. & Buchta, K., Process for the Preparation of Pregelatinized Starch, Cold-Setting Starch., U.S. Patent 3,332,785 (1967).
24. Lewis, M. J., Physical Properties of Food and Food Processing Systems., VHC Cells Harwood, First Edition, England 1987, pp. 108-136..
25. Masters, K., Spray Drying., Halsted Press, a Division of John Wiley & Sons Inc., Second Edition, New York, 1976.
26. Matz, S. A., Food Texture., AVI Publishing Co. Inc., Second Edition, Connecticut 1962, pag. 53-60.
27. Morio, T. N., Ryusuke, N.T., & Noriko, Y.K., Method of Manufacturing dried rice with pregelatinized starch content., U.S. Patent 4,794,012 (1988).
28. National Starch and Chemical Corp., Introducing New Line of Cold Water-Swelling Starches., Food Technol., 42 (8):160-161, 1988.
29. National Starch and Chemical Corp., Starch Permits Quicker Cook., Food Engineering., 37 (5):59, 1985.
30. Norma Oficial Mexicana, NOM-F-160-1982, Harina de Arroz, Dirección General de Normas.
31. Norma Oficial Mexicana, NOM-F-46-S-1980, Harina de Malz, Dirección General de Normas.
32. Norma Oficial Mexicana, NOM-F-7-1982, Harina de Trigo, Dirección General de Normas.
33. Orford, P. D., Ring, S. G., Carroll, V., Miles, M. J. & Morris, V. J., The effect of Concentration and Botanical Source on The Gelation and Retrogradation of Starch., J. Sci. Food Agric., 39:169-177, 1987.
34. Osman, E.M., Interaction of Starch with other Components of Food Systems., Food Technology, 29 (4):30-35, 1975.
35. Phillips, G. O., Wedlock, D. J. & Williams, P. A., Gums and Stabilisers for the Food Industry 3., Elsevier Applied Science Publisher L.T.D., First Edition, New York, 1988.
36. Potato Starch., Roquette Freres., Publicación interna, pp. 1-16.

37. Potato Starch in Meat Products., Publicación Interna, AVEBE Veendam-Holland. Foxhol, Holland.
38. Potter, N. N., La Ciencia de los Alimentos., EDUTEX S.A. Primera edición, México D.F., 1988.
39. Pravisani, C.I., Callfano, A.N. & Calvelo, A., Kinetics of Starch Gelatinization in Potato., *J. of Food Science*, 50:657-660, 1985.
40. Radley, J. A., Starch and its Derivates., Chapman and Hall L.T.D., Fourth Edition, London 1988.
41. Reed, G., Enzymes in Food Processing., Second edition, Academic Press, New York, 1980, pp. 236-243.
42. Sapers, G. M., Douglas, F. W., Bilyk, A., Hsu, A. F., Dower, H. W., Garzarella, L. & Kozempel, M., Enzymatic Browning in Atlantic Potatoes and Related Cultivars., *J. of Food Science*, 54 m (2):362-365, 1989.
43. S.A.R.H., D.D.F. y COABASTO., Sistema Producto Papa Alpha para el D.F., Serie Temática Sistemas Producto No. 4, México D.F., 1988, PP. 7-61.
44. S.A.R.H., Econotecnía Agrícola., Marzo, 1994, pp. 9-12, 14, 50, 51, 74-80, 86, 87.
45. S.A.R.H., Anuario Estadístico., Dirección General de Economía Agrícola., México D.F., 1994
46. S.A.R.H., Superficie Sembrada, Cosechada y Producción de Papa., Dirección General de Estadística, Enero 17, 1994.
47. Schoch, T. J. & Maywald, E. C., Microscopic Examination of Modified Starches., *Analytical Chemistry*, 28 (3):382-387, 1956.
48. Thaler, M. D. & Rubens, R. W., Pulse combustion process for the preparation of pregelatinized starches., U.S. Patent, 4,667,654 (1987).
49. Whistler, R. L. & Paschall, E. F., Starch, Chemistry and Technology, Vol. I y II, Academic Press, Second Edition, N. Y. & London, 1967.
50. Wojnonska, I., Poznanski, S. & Bednarski, W. Processing of Potato Protein and Their Properties., *J. of Food Science*., 47:167-172, 1981.
51. Wurzburg, O. B. & Szymanski, C. D., Modified Starches for the Food Industry., *J. Agr. Food Chem.*, 18 (6):997-1001, 1970.
52. Yáñez, E., Ballester, D., Wuth, H., Orrego, W., Gattás, V. y Estay, S., Potato Flour as Partial Replacement of Wheat flour in Bread: Baking studies and nutritional value of bread containing graded levels of potato flour., *J. of Food Technol.*, 16: 291-296, 1981.

Apéndice 1

Formulas utilizadas en el ANDEVA

1.- Suma de cuadrados Σx^2

a) SC dentro de los grupos

$$SCd = \Sigma x_1^2 + \Sigma x_2^2 + \Sigma x_3^2$$

x = un puntaje de desviación ($X - \bar{X}$)

b) SC entre los grupos

$$Sce = \Sigma (\bar{X}_{Total})^2 N$$

\bar{X} = Cualquier media muestral

\bar{X}_{Total} = la media total

N = número total de puntajes de cualquier muestra

c) Suma total de cuadrados

$$SC_{total} = Sce + SCd$$

2.- La media cuadrática

a) Media cuadrática entre grupos

$$\mu Ce = SC e / gIa$$

gIe = grados de libertad entre los grupos

gIe = K - 1

K = Numero de muestras

b) Media cuadrática dentro de los grupos

$$\mu Cd = SCd / gId$$

gId = grado de libertad dentro de los grupos

gId = $N_{total} - K$

N_{total} = Número total de pruebas en todas las muestras combinadas

3.- Razon o coeficiente F

F puede considerarse como un indicador de la magnitud de la media cuadrática entre los grupos en relación con el tamaño de la media cuadrática de los grupos

$$F = \mu Ce / \mu Cd$$

Si la F calculada es mayor a la encontrada en tablas existe diferencia significativa entre los grupos, para saber entre que grupos existe diferencia significativa se hace una comparación múltiple de medias conocida como la diferencia significativa honesta (DSH).

4.- Diferencia significativa honesta DSH

$$DSH = q \Phi (\mu Cd/n)^{1/2}$$

$q \Phi$ = Un valor de la tabla a un nivel de confianza dado para el número máximo de medias que se están comparando.

Cd = La media cuadrática dentro de los grupos

n = el número de entrevistados en cada grupo

Si la DSH de mayor que la obtenida en tablas existe diferencia significativa entre esos grupos

Apéndice 2

Factores de conversión del Viscosímetro de Brookfield

R.P.M	Vástago			
	1	2	3	4
6	10	50	200	1000
12	5	25	100	500
30	2	10	40	200
60	1	5	20	100

* Estos factores fueron utilizados para convertir las lecturas del viscosímetro de Brookfield a viscosidad aparente.

Apéndice 3

Condensado de resultados del ANDEVA

	Humedad	Cenizas	Proteína	Grasa
Sc dentro	2.9839	0.0923	0.5924	0.5124
Sc entre	12.3398	0.2089	1.8131	1.2043
Sc total	15.3035	0.3012	2.2055	1.7167
µC entre	1.3711	0.0232	0.1792	0.1338
µC dentro	0.1481	0.0046	0.0296	0.0256
F	9.25	5.0270	6.0500	5.2220
DSH	1.1135	0.1964	0.4978	0.4632

	Reductores	pH	Aw	SO ₃	Color
Sc dentro	0.0022	0	0.0013	183.12	0.1488
Sc entre	3.0566	0.06	0.0229	54.37	4.1277
Sc total	3.0589	0.06	0.0242	217.49	4.2745
µC entre	0.3396	0	0.0001	54.37	0.4586
µC dentro	0.0001	0.006	0.0025	8.15	0.0073
F	29.8600	0	39.0900	6.68	62.4497
DSH	0.0308	-	0.0233	8.25	0.2478

* F_{0.05} = 2.39

Indice de tablas, gráficas y figuras

Indice de Tablas

		Página
Tabla 1	Superficie Cosechada, producción y exportación de las principales hortalizas del país (1985)	5
Tabla 2	Coloración de la pulpa de las principales variedades cultivadas	7-8
Tabla 3	Efecto de los sulfitos	13
Tabla 4	Contenido de amilosa - amilopectina en algunos almidones nativos comunes	21
Tabla 5	Rango de temperatura de gelatinización de distintas especies	27
Tabla 6	Relación entre la retrogradación y la mezcla de amilosa - amilopectina	31
Tabla 7	Características de almidones modificados	35
Tabla 8	Análisis proximal de papas blancas	36
Tabla 9	Forma y Tamaño de los gránulos de almidón de distintas especies	38
Tabla 10	Características de varios almidones medidas con el Viscógrafo de Brabender	38
Tabla 11	Uso de almidones Modificados	47
Tabla 12	Dimensiones de la viscosidad dinámica	49
Tabla 13	Conversión de viscosidad dinámica a viscosidad cinemática	51
Tabla 14	Características de Selección de los agentes blanqueantes	62
Tabla 15	Efecto de los agentes blanqueantes sobre los lotes 1 a 20	67
Tabla 16	Análisis Bromatológico de la papa sin cáscara	69
Tabla 17	Rendimiento promedio del Proceso	69
Tabla 18	Extracto seco del agua de filtrado	69
Tabla 19	Análisis Bromatológico del extracto seco	70
Tabla 20	Análisis Bromatológico de los 10 lotes de Harina	70
Tabla 21	Análisis físicoquímico de los 10 Lotes de Harina	72
Tabla 22	Comparación reológica de 4 diferentes lotes	75
Tabla 23	Resultados de la pregelatinización de la Harina de Papa	81

Indice de Gráficas

		Página
Gráfica 1	Curva de secado de la pasta	68
Gráfica 2	Efecto de la Humedad en la actividad de agua de la Harina	73
Gráfica 3	Efecto de la temperatura en el SO ₂ residual de la Harina de papa	74
Gráfica 4	Comparación del color de los lotes de Harina de papa	75
Gráfica 5	Viscosidad de distintos lotes	76
Gráfica 6	Viscosidad de distintos lotes de harina de papa	76
Gráfica 7	Viscosidad de distintos lotes de harina de papa	77
Gráfica 8	Viscosidad de distintos lotes de harina de papa	77
Gráfica 9	Efecto de la concentración de la harina en la viscosidad	78
Gráfica 10	Viscosidad de distintos lotes de harina	79
Gráfica 11	Viscosidad de distintos almidones	79
Gráfica 12	Viscosidad de distintos almidones	80
Gráfica 13	Viscosidad de distintos almidones	80
Gráfica 14	Viscosidad del almidón de harina de papa pregelatinizado	82

Índice de figuras

		Página
Figura 1	Oscurecimiento enzimático	11
Figura 2	Reacción de Maillard	13
Figura 3	Cambios en el contenido de almidón en papas secadas	17
Figura 4	Isotermas de adsorción - desorción	18
Figura 5	amilosa	21
Figura 6	amilopectina	21
Figura 7	Unidad de α -D glucopiranosil	22
Figura 8	Enlace entre unidades de α -D glucopiranosil	22
Figura 9	Configuración de la amilosa	23
Figura 10	estructura amilopectina	23
Figura 11	Hidrólisis de amilopectina	23
Figura 12	Modelo propuesto de amilopectina	24
Figura 13	Hinchamiento del almidón	28
Figura 14	Asociación de compuestos hidroxilados	29
Figura 15	Retrogradación	30
Figura 16	Comportamiento de soluciones de almidones calentadas 10 minutos a 92 °C	39
Figura 17	Curva de adsorción-desorción	40
Figura 18	Proceso de pregelatinizado por Spray	43
Figura 19	Distintos tipos de secadores de tambores	44
Figura 20	Tensión de Corte	48
Figura 21	Reogramas de 2 diferentes fluidos Newtonianos y uno no Newtoniano	49
Figura 22	Divisiones del comportamiento No Newtoniano	52
Figura 23	Fluidos independientes del tiempo	53
Figura 24	Reograma de un fluido pseudoplástico	53
Figura 25	Comparación de las viscosidades de fluidos Newtonianos	54
Figura 26	Comparación de los reogramas de fluidos independientes del tiempo y dependientes del tiempo	55
Figura 27	Reograma de un fluido dependiente del tiempo	56
Figura 28	Método de línea de flujo de vapor	56
Figura 29	Viscosímetro en forma de U	57
Figura 30	Tipos de Viscosímetros Rotacionales	58