



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

1.	Introducción	1
2.	Generalidades	2
3.	Almidón	14
4.	Obtención industrial de almidón de papa	29
5.	Generalidades e importancia de las operaciones críticas en el proceso	39
6.	Justificación	46
7.	Objetivos	47
8.	Descripción de la materia prima empleada	48
9.	Metodología experimental	49
10.	Resultados	57
11.	Conclusiones y recomendaciones	78
	Bibliografía	80
	Apéndice	84

Introducción

La papa es originaria de las regiones más elevadas de América del Sur; Los Andes en la República del Perú, tierra de naturaleza volcánica cuyas propiedades fueron muy favorables para dar origen a este cultivo. Por muchos años la papa constituyó el principal alimento de los incas del Perú, lugar en el que existe una gran variedad de éste tubérculo, durante las épocas de gran abundancia lo conservaban mediante un método de deshidratación y congelación, misma que ocurría durante las frías noches, en el transcurso del día se descongelaban para posteriormente exprimir las con los pies y así deshidratarlas, repitiendo este ciclo hasta que reducían en gran medida el contenido de humedad para preservarlas durante largos periodos. (35)

A la llegada de los españoles al Nuevo Mundo la papa estaba distribuida a lo largo de América, en las regiones del Sur, Centro y Norte América (México y algunas regiones de los Estados Unidos). Es difícil precisar la fecha en que este cultivo se difundió en el continente europeo pero se cree que esto ocurrió aproximadamente hacia el año de 1550 en que la papa blanca fue llevada a España y así a otros países como: Italia y Borgoña (1560), Irlanda (1565), Inglaterra (1596), Francia (1616), Alemania (1650).

Actualmente este cultivo se encuentra diseminado por todo el mundo y dado su alto rendimiento agrícola, corto ciclo de producción, disponibilidad durante todo el año, contenido en nutrientes, principalmente como fuente de carbohidratos, además de su delicado sabor, su consumo se ha ido incrementando con el paso del tiempo. (4,21)

En México la papa se comercializa en diversas formas:

- en fresco
- hojuelas de papa fritas
- enlatada (ensalada de legumbres o en salmuera)
- en preparados para puré instantáneos
- a la francesa congeladas
- subproductos como harina y almidón.

Sin embargo, una gama importante de subproductos de papa como: harina, almidones naturales y modificados cuyos usos son amplios se producen en tan baja escala que sus volúmenes no se encuentran siquiera registrados y no cubren las necesidades de la industria nacional por lo que es necesario importarlos. Por otra parte en nuestro país el problema de la pérdida de las hortalizas es muy importante debido principalmente a un inadecuado manejo postcosecha, así como al ineficiente mecanismo de distribución y comercialización. (3,4)

En el caso de la papa, la merma que se alcanza es hasta del 25% aproximadamente, pero no necesariamente debe considerarse como tal si se contempla que es susceptible de utilizarse como materia prima en la elaboración de subproductos como harinas y almidones, lo cual ayudaría a reducir las pérdidas y las importaciones.

Tomando en cuenta los altos desperdicios de papa en México, y las importaciones de productos derivados de la misma, surge la necesidad de desarrollar trabajos de investigación encaminados a reducir las pérdidas en fresco y a la obtención de subproductos de papa a través de una metodología sencilla. El presente trabajo se abocará al estudio de obtención de almidón natural de papa que nos permita producirlo y aprovechar mejor nuestros recursos.

2. GENERALIDADES

2.1 Producción y Variedades

La papa (*Solanum tuberosum*) es un tallo, el de mayor cultivo a nivel mundial en su género. Existen diversos tipos de papa tomando en cuenta sus características morfológicas, genéticas y fisiológicas.

Las variedades se distinguen por sus dimensiones, forma, color de la piel, desarrollo del aparato aéreo, resistencia a las enfermedades e insectos, rendimiento, tolerancia al calor y a la luz. (4,25,34,43)

A menudo se emplean características fácilmente identificables como criterio para clasificar las papas tales como:

- a. color de la piel
- b. consistencia y color de la pulpa

En cuanto al color de la piel, puede ser:

- amarillo
- rosado
- rojo
- violáceo o abigarrado

En cuanto a la consistencia de la pulpa, la de color amarillo es compacta y con mayor contenido de proteínas; mientras que la de pulpa blanca es harinosa.

En nuestro país se cultivan en forma comercial diversas variedades, siendo las más comunes las siguientes:

De cáscara roja	De cáscara amarilla o blanca
Sangena o Rosita	Alfa (la de mayor producción)
Juanita	Gréta
Murca	Atzimba
López	

(Información obtenida en la Central de Abastos)

Respecto a la calidad, la Norma Oficial Mexicana, NOM-FF-22, establece 3 diferentes grados de calidad de papa México extra, México 1 y México 2, en el anexo 1 se describen las características que deben tener las papas en cada clasificación, así como aspectos generales de presentación del producto, muestreo, envase y embalaje, características de la etiqueta etc.

2.1.1 Producción en México

La papa se ha cultivado tradicionalmente en México es un producto de consumo amplio, que tiene compradores en todos los estratos sociales.

El ciclo productivo esta organizado de tal forma que durante todo el año hay disponibilidad de papa fresca, pues siempre hay un estado que la produce. (4)

A continuación se muestra el volumen de la producción de todas las variedades de papa por año en el período comprendido de 1978 a 1986.

Tabla 1. Producción Nacional de papa alfa
Anuario Estadístico (Sria. Programación y Presupuesto).

AÑO	Producción (Ton)
1978	923 230
1979	1 053 385
1980	1 064 905
1981	861 278
1982	1 054 211
1983	835 215
1984	1 016 906
1985	989 482
1986	1 200 00

Como se puede apreciar en la tabla anterior no hay un crecimiento sostenido en la producción de este tubérculo en el período que se especifica y esto se atribuye a diversos factores entre los que se podrían incluir: características y comportamiento del mercado, políticas del cultivo de diferentes productos, factores climatológicos adversos, falta de insumos, prácticas de cultivo inadecuadas etc.

Los principales estados productores de papa en la República Mexicana son: Puebla, México, Veracruz, Chihuahua y Guanajuato, cuya producción representa el 63.17% del total nacional.

2.2 Prácticas de cultivo

Para el buen cultivo de la papa se precisa de terrenos compuestos por tierra suelta y permeable de preferencia arcillo-arenosa, ricos en potasio y fosfatos.

Algunas papas tienen un contenido más alto de materia seca que otras y dicho contenido está grandemente influenciado por las condiciones del medio ambiente, (tipo de suelo, humedad, temperatura) independientemente de otros factores como el uso de fertilizantes y medios de cultivo.

La característica más importante que debe observarse durante la selección de las papas para su procesamiento, es el contenido de materia seca, ya que por cada incremento del 1% se puede obtener un aumento de aproximadamente 0.500 kg. o más de almidón por cada 50 kg. de papa cruda pesada. (3,25,43)

Los factores mas importantes que afectan el contenido de materia seca son;

2.2.1 Epoca de sembrado

Dado que las condiciones climáticas afectan el cultivo de papa, la época de sembrado es un factor de importancia que define el contenido de la materia seca y la madurez del producto.

2.2.2 Tipo de suelo.

El suelo idóneo para el cultivo de papa es el de naturaleza arcillosa que es alto en humedad y ligeramente más frío que el arenoso, en este suelo se producen papas con mayor cantidad de materia seca debido a una menor pérdida de azúcares y almidón provocada por la respiración baja del tubérculo. Se ha visto que el contenido de almidón en las papas cultivadas en suelos arenosos es del 16.32% en promedio mientras que en los arcillosos es del 18.52 %.

La presencia de compuestos como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio repercuten directamente en el peso específico de las papas.

El nitrógeno tiende a incrementar el desarrollo de la planta y prolongar el periodo de crecimiento pero reduce el peso específico, mientras que la presencia de fósforo produce un ligero aumento en el peso específico del tubérculo. Una deficiencia de potasio puede ocasionar que la formación de los gránulos de almidón sean de menor tamaño.

2.2.3 Acidez del terreno

Aunque se cree que el pH del terreno tenga poca o nula importancia sobre el contenido de almidón, se ha comprobado que el porcentaje de almidón en papas cultivadas en suelos con rangos de pH entre 5.4 - 6.05 es mas alto que en aquellas cultivadas en rangos mayores o menores al mencionado.

2.2.4 Humedad

La diferencia en el contenido de agua en los terrenos debido a la lluvia, irrigación o bien evaporación de los mismos puede afectar en el contenido de materia seca, la humedad adicional en los campos de cultivo puede dar como resultado una disminución en el contenido de la materia seca hasta en un 1%.

2.2.5 Temperatura

La temperatura óptima del suelo para un buen desarrollo en el contenido de almidón en la papa se encuentra entre los 20 y 22 °C. (25,43)

2.3 Almacenamiento de la papa

El almacenamiento es uno de los puntos mas importantes a considerar como etapa previa a cualquier proceso al que se someta la papa, pues tiene una gran influencia en la calidad y composición final del producto. (3,43,48)

Las condiciones mas importantes que se deben considerar durante el almacenamiento son:

2.3.1 Control de la temperatura

La temperatura de almacenamiento recomendada, se encuentra entre el rango de 10-13 °C, con lo que se logra un buen control en la germinación y deterioro del tubérculo; ayuda también a controlar el crecimiento de bacterias durante el almacenamiento.

Las temperaturas de almacenamiento no deben ser menores de 3 °C ya que por debajo de la misma y por acción de las enzimas se produce un desdoblamiento del almidón en azúcares simples, lo que causa un endulzamiento de los tubérculos.

A temperaturas mayores se induce la germinación de los mismos, siendo esto igualmente indeseable por los cambios bioquímicos que toman lugar, tales como la pérdida de peso, y la reducción en el contenido de almidón.

2.3.2 Circulación de aire

La circulación de aire es de suma importancia, ya que con esta se logra una adecuada distribución de los gases atmosféricos alrededor de la papa. Una buena circulación de aire proporciona un constante movimiento de este y evita el estacionamiento de aire caliente, manteniendo constante la temperatura y la humedad relativa en la bodega de almacenamiento, evitando así la proliferación de bacterias e insectos.

2.3.3 Humedad relativa

Para una buena conservación de las papas durante el almacenamiento se requiere controlar la humedad relativa de

un 80% a un 90% , de esta manera se evita la pérdida de peso del producto cuando la humedad es baja o bien cuando ésta se encuentra por arriba del límite mencionado hay una mayor proliferación de microorganismos por el exceso de humedad.

2.3.4 Control de la luz

La papa deberá ser almacenada en completa obscuridad ya que la luz aunque sea de muy baja intensidad causa en ellas una pigmentación verde debida a la germinación, así como la producción de un compuesto llamado solanina, que es altamente tóxico. La exposición de los tubérculos frescos a la luz ultravioleta causa el incremento en el contenido de solanina.

Si se llevan a la práctica estos cuatro puntos anteriores se logrará una buena conservación de la papa en los distintos periodos de almacenamiento. (32,43)

2.4 Enfermedades de la papa

Las enfermedades merman el vigor de la planta, la producción y la calidad del tubérculo, y son factores que deben considerarse durante el almacenamiento y procesamiento del mismo.

La velocidad de respiración del tubérculo, la composición del mismo, la capacidad para sanar heridas son los principales factores que influyen en la propagación de las enfermedades, además de factores ambientales como la humedad y la temperatura. (43)

2.4.1 Enfermedades de origen no microbiano

Se pueden presentar diversos tipos de daños por bajas temperaturas, cuya severidad dependerá del tiempo y temperatura a la que se exponga el tubérculo. Los principales daños consisten en: oscurecimiento de la pulpa que pueden ser desde un ligero enrojecimiento, hasta el oscurecimiento total de ciertas zonas de la pulpa, en función del tipo de padecimiento. (43)

- Oscurecimiento de Mayohany. Este daño se presenta en tubérculos almacenados a temperaturas arriba de los 0°C y va desde el rojizo hasta el negro presentándose en la proximidad del peridermo.

- Corazón negro. Se provoca por la formación y acumulación de anhídrido carbónico, que produce un ennegrecimiento en la parte central de la pulpa, mientras que la parte externa continúa normal.

- Formación de cavidades. Se desarrollan cavidades en el interior, con una coloración ligeramente oscura en el tejido que la rodea. Las cavidades se forman aparentemente por un

rápido crecimiento del tubérculo.

- Necrosis interna. En este padecimiento, el tejido interno presenta coloraciones que van desde el café claro hasta el café oscuro, similar al corazón negro, el tejido permanece firme. Esta enfermedad es más frecuente en tubérculos cultivados en tierras arenosas,

2.4.2. Enfermedades de origen bacteriano

La pierna negra y la pudrición blanda de la papa se atribuyen a la proliferación de la *Erwinia carotovora* y son las enfermedades más comunes en este producto.

Otra pudrición bacteriana de importancia es la causada por la *Corynebacterium sepedonicum*.

La pudrición café es una enfermedad causada por la *Pseudomona solanacearum*, siendo la más común en climas tropicales y subtropicales.

El *Streptomyces scabies* ataca el tubérculo dándole una apariencia de gran resequeidad (corcho blanco), mermando la apariencia y calidad del producto.

La pudrición tardía se atribuye a la acción de la *Phytophthora infestans* que acaba en un tiempo sorprendentemente corto con los cultivos de papa. La *Alternaria solani* provoca la pudrición temprana de los tubérculos. (43)

2.4.3 Hongos

El ataque de hongos ocurre principalmente en las operaciones de cosecha y postcosecha, en donde el producto puede sufrir mas fácilmente heridas haciéndose más susceptible a la proliferación de dichos microorganismos.

Se produce una pudrición dura ocasionando una apariencia seca en el producto, llamada gangrena seca.

Los microorganismos más comunmente asociados a este tipo de padecimiento son:

- Fusarium roseum*
- F. avenaceum*
- F. sambucinum*
- F. sulphurem*
- F. trichothecioides*
- F. oxysporum*
- F. solani*
- F. coeruleum*

Al contaminarse las papas, presentan descomposición mal oliente y emanaciones líquidas, por lo que es muy importante observar las condiciones durante el almacenamiento para evitar así dicha proliferación, y la merma en la calidad y rendimiento de este producto.

2.5 Estructura anatómica de la papa

En la fig 1 se muestra la disposición de los tejidos internos mas importantes en la papa madura. Como puede apreciarse este tubérculo esta constituido por: peridermis, cortex, anillo vascular, médulas externa e interna, denominada genéricamente como médula.

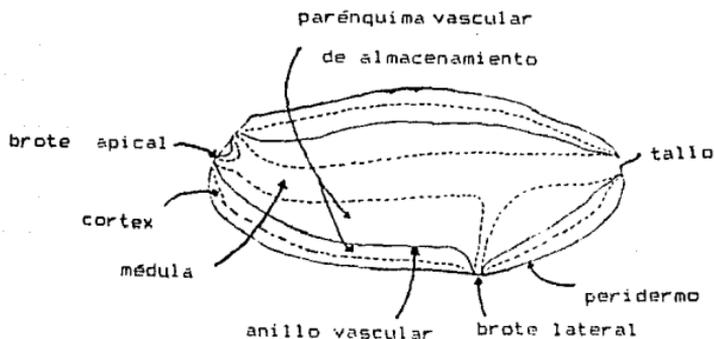


Fig 1. Estructura anatómica de la papa (*Solanum Tuberosum*) (43)

La capa superficial se llama peridermo o epidermis es en su mayor parte tejido de corcho que actua como una papa protectora contra el ataque microbiano retardando además la pérdida de humedad. Esta formado por el peridermo interno o endodermo el cual contiene el pigmento que da el color característico de la piel de las distintas variedades. Por debajo del peridermo se encuentra el cortex, que es una capa delgada de tejido parenquimático.

El parénquima del tubérculo contiene amidas y proteínas en el jugo celular, almidón en el citoplasma, esta última sustancia se encuentra en el parénquima del cortex, parénquima de la médula, tejidos vasculares, frutos, cotiledón y hojas, predominando como carbohidrato de reserva. (34,43)

Las paredes celulares son delgadas a excepción de las de los tejidos xilemáticos y endodermas.

2.6 Composición

La composición química del tubérculo esta sujeta a grandes variaciones que están en función de factores como: variedad de la papa, área de producción, prácticas de cultivo, manejo, forma y condiciones de almacenamiento y hasta la forma de llevar a cabo los métodos de análisis.

A continuación se muestra la tabla No.2 con la composición química de la papa. Como puede observarse el agua es el componente que domina, seguido en importancia por el almidón que representa el 80 % aprox. del tubérculo en base seca, siendo el aporte de proteínas relativamente bajo y cuyo contenido depende de la variedad, por otra parte las grasas se encuentran presentes en una pequeña proporción y no representan un aporte significativo en la dieta diaria.
(1,2,6,13,30,33,43)

Tabla 2. Composición Química del tubérculo.(43)

Constituyentes	Límites (%)
Agua	63.20 - 86.90
Sólidos Totales	13.10 - 36.80
Proteínas	0.70 - 4.60
Grasas	0.02 - 0.96
Carbohidratos	13.30 - 30.53
Fibra cruda	0.17 - 3.48
Cenizas	0.44 - 1.19

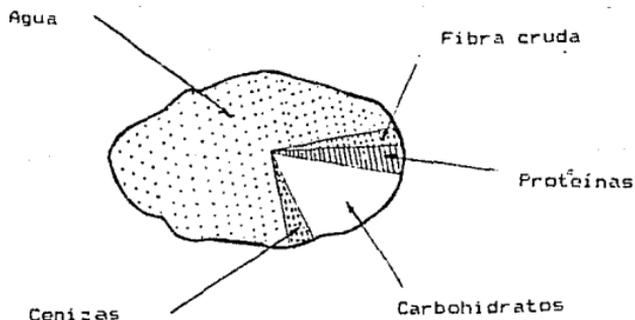


Fig 2. Composición química del tubérculo.(29)

2.6.1 Carbohidratos

Los carbohidratos representan el componente mayoritario de la papa pues se encuentra en 13.3 - 30.53% en base húmeda y en un 80% aprox. en base seca. Este tubérculo contiene carbohidratos de dos tipos: disponibles y no disponibles, entre los primeros es sin duda el almidón el componente de mayor importancia, pero contiene además, azúcares en pequeñas cantidades como glucosa, fructosa, heptulosa, rafinosa y melobiosa.

Dentro de los carbohidratos no disponibles se encuentran presentes : celulosa, hemicelulosa y sustancias pécticas en 1 % aproximadamente, además de otros polisacáridos en pequeñas cantidades como polímeros glucosídicos mezclados, constituidos por diferentes porciones de arabinosa, galactosa y ramnosa.

2.6.2 Celulosa

La celulosa es un polisacárido de alto peso molecular consistente en residuos de glucosa combinados por enlaces beta D(1-4), que se encuentra presente en la membrana como soporte de la pared celular, y constituye de un 10-20% de los polisacáridos no almidonosos.

La celulosa es un carbohidrato metabólicamente inerte, pero sin embargo es importante su consumo en la dieta diaria para un buen funcionamiento digestivo al aumentar los movimientos de los músculos intestinales.

2.6.3 Hemicelulosa

Se ha reportado que aproximadamente el 1% del total de los polisacáridos se encuentran presentes en forma de hemicelulosa que es el componente de la pared celular constituido por pentosas como D-Xilopiranosas formando grandes cadenas unidas por enlaces glucosídicos beta D(1-4), podemos encontrar asociados a este polímero mananos, glucomananos, galactanos, arabinogalactanos, arabinoxilanos, ácido urónico y sustancias pécticas.

Por ser el almidón el objeto de éste estudio se tratará en un capítulo aparte.

2.6.4 Vitaminas

De las vitaminas que contiene la papa, la vitamina C es la que se encuentra en mayor cantidad. Sin embargo contiene otras de importancia como la tiamina, el ácido nicotínico y la riboflavina. Debido a que el contenido de grasa en las

papas es muy bajo, las vitaminas liposolubles se encuentran solo en trazas. A continuación se muestra una tabla con el contenido vitamínico aproximado:

Tabla 3. Contenido vitamínico.(6)

Vitamina	mg/100 g
Vit. C	24.1
Tiamina	10.1
Ac. nicotínico	8.6
Riboflavina	3.0
Vit. A	trazas
Vit. D	trazas

2.6.5 Minerales

La papa se considera como una fuente importante de minerales como: hierro, potasio y calcio principalmente.

En la tabla 4, se muestra el contenido de dichos minerales, así como el requerimiento diario.

Tabla 4. Composición de minerales

Mineral	Contenido en la papa	Valores dietéticos recomendados *
Potasio	1394 ug/100 g	2500 ug
Hierro	75 mg/100 g	14 mg
Calcio	65 mg/100 g	800 mg
Fósforo	40 mg/100 g	800 mg
Magnesio	43 ug/100 g	325 mg
Sodio	10 ug/100 g	s/recomendación
Manganeso	5 ug/100 g	s/recomendación
Zinc	1.700 ug/100 g	15 mg
Cobre	1.000 ug/100 g	2 mg
Níquel	0.250 ug/100 g	s/recomendación
Cobalto	0.065 ug/100 g	s/recomendación

* Recomendación diaria para hombres y mujeres sanos normales de 25 a 50 años.(6)

Como se puede apreciar el aporte de hierro en una ración de 100 g de papa, es 5.35 veces mayor que la cantidad recomendada. En el caso del potasio, la cantidad contenida cubre el 56 % del requerimiento, el calcio y fósforo contribuyen con un 5% aprox. de dicho requerimiento.

Incluir este tubérculo en la dieta diaria significa un aporte importante ya que cubre en algunos casos gran parte del requerimiento de minerales, recomendado.

2.6.6 Proteínas

Aunque ciertamente la porción de proteínas que contiene la papa es pequeña, éstas son de buena calidad debido a su composición en aminoácidos, pues 6 de ellos son esenciales: isoleucina, fenilalanina, leucina, treonina, triptofano y valina, por lo que se ha demostrado que combinada con otros alimentos como los cereales, aportan la mayor parte de nutrientes que el cuerpo necesita.

Es interesante hacer notar que en algunos países europeos en donde el consumo anual es muy elevado, 180 kg per cápita, la papa constituye una fuente importante de proteínas, mientras que en nuestro país el consumo per cápita es de apenas 16 kg, lo cual representa menos del 10 % del consumo en dichos países. (1,4,6,13,43)

2.6.7 Enzimas

Las enzimas que están presentes en la papa son las relacionadas con mecanismos de conversión del almidón en azúcares por amilasas posteriores a la glucólisis, el ciclo del ácido tricarbónico y el sistema oxidativo de citocromos.

El oscurecimiento de la papa es bastante marcado en un tiempo de 10 a 15 minutos, después de que las papas se han pelado, ya que se lleva a cabo rápidamente la reacción entre la polifenoloxidasas (PPO) y el compuesto O-dihidroxifenol (DP), produciendo así el oscurecimiento, que es uno de los problemas más importantes a controlar durante el procesamiento. (16)

Scott y colaboradores (1957) sugieren que el oscurecimiento de las papas podría prevenirse sometiendo estas a un escaldado a 75-80°C. este tratamiento incrementa la temperatura interna lo suficiente para inactivar la PPO y de esta forma prevenir dicha reacción de oscurecimiento. Sin embargo este tratamiento podría disminuir el rendimiento en operaciones como el pelado ya que se remueve una cantidad excesiva de tejido. (38)

Hasta el momento ninguna teoría ha explicado en donde se encuentra el sustrato DP y como ocurre la interacción PPO-DP, pero hay numerosas investigaciones al respecto, para poder inhibir de una manera más eficaz el indeseado

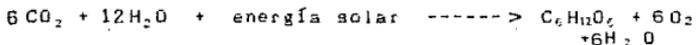
oscurecimiento empleando sustancias inocuas, pues la FDA (Food and Drug Administration) ha regulado estrictamente el uso de algunos antioxidantes de uso generalizado como el caso de los sulfitos. (16,46,51)

3. ALMIDON

3.1 Síntesis del almidón

El almidón es un carbohidrato que se forma durante el proceso fotosintético de las plantas verdes y se encuentra como material de reserva. La fotosíntesis empieza con la absorción de la luz en la clorofila y por tanto la capacidad de absorber la luz solar en la región visible se debe a su amplio sistema conjugado, pues a medida que los fotones de luz son atrapados por la clorofila, la energía acumulada está disponible para la planta en forma química, la cual puede utilizarse para llevar a cabo las reacciones que reducen el dióxido de carbono a carbohidratos y oxígeno.

Los carbohidratos actúan como depósito químico para almacenar la energía solar, cuando las plantas metabolizan a los carbohidratos formando dióxido de carbono y agua, la energía se libera mediante la siguiente fórmula general (39):



El almidón normalmente se almacena en las plantas en partículas muy pequeñas conocidas como gránulos, dado que ejercen una presión osmótica muy baja, las plantas pueden almacenar grandes cantidades de D-glucosa sin romper el balance de agua en sus tejidos. (6,39)

3.2 Estructura del gránulo de almidón

El tamaño y forma de los gránulos es característico de cada especie, como se puede apreciar en la fig 3, en donde se muestran gránulos con formas geométricas distintas.



Fig 3. Observación microscópica de los diferentes gránulos de almidón.(29)

En la papa, el almidón se encuentra presente en forma de gránulos microscópicos, esféricos o de forma oval estratificado en la superficie, cuyo tamaño promedio varía en un rango de 5 a 100 micras, siendo estos mucho mayores que los gránulos de maíz, trigo y tapioca, como se puede apreciar en la tabla 5. (1,6,26,29):

Tabla 5. Tamaño de los gránulos de almidón de diferentes orígenes.(29)

Almidón	Tamaño del gránulo (micras)
Papa	5 - 100
Arroz	2 - 5
Maíz	5 - 25
Tapioca	5 - 35
Trigo	1 - 40

El gránulo esta constituido por un sólo hilum colocado excéntricamente y que es además el centro botánico, es decir el núcleo alrededor del cual ocurre el crecimiento. La presencia de cristales regularmente orientados hacen que el gránulo de almidón tenga birrefringencia y presente distintos patrones de difracción de rayos X. (17,52,53)

En la fig. 4 se muestran las estrías dispuestas radialmente en la microestructura del gránulo.



Fig 4. Microestructura del gránulo de almidón (52)

Además del almidón, el gránulo contiene otros compuestos como celulosa, proteínas, grasas, cenizas, su composición aproximada es la siguiente:

Sustancia amilácea pura	96.00	-	99.11 %
Albúmina	0.18	-	1.82 %
Cenizas	0.13	-	0.62 %

En la fig 5. se muestra la distribución del tamaño de los gránulos de almidón de papa, por número y por peso.

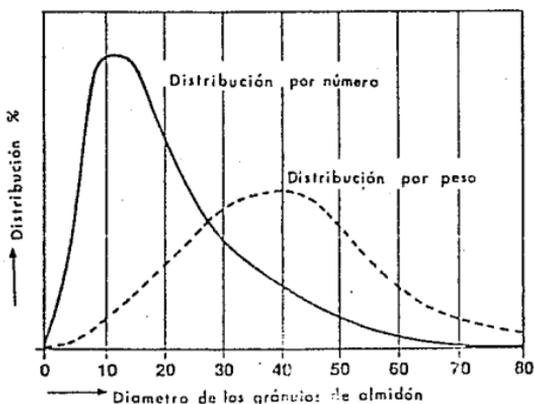


Fig 5. Distribución de los gránulos de almidón de papa por número y por peso. (29)

3.3 Características Estructurales

El almidón es un polisacárido de elevado peso molecular constituido por moléculas de D-Glucosa como unidad fundamental, siendo este el monosacárido más importante y abundante en la naturaleza. Está constituido fundamentalmente por seis átomos de carbono hidroxilados, que contienen un grupo aldehído, por lo que también reciben el nombre de aldohexosa. Se representan de la siguiente forma (1,6,52):

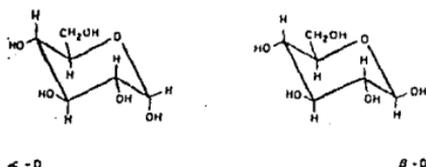


Fig 6. D-Glucosa : Unidad fundamental del almidón (6)

El almidón así mismo está constituido por dos fracciones: la amilosa y la amilopectina, encontrándose ambas en el caso del almidón de papa en una proporción aproximada de 1 a 3, ya que contiene de un 20 -30% de amilosa y de un 70 - 80 % de amilopectina.

La amilosa es un polímero polidisperso con una estructura casi lineal, ya que se han aislado pequeñas cantidades de un glucano poco ramificado junto con la amilosa. Esta básicamente constituida por unidades de D-glucosa condensadas, presentes como anillos de piranosa, unidos por enlaces alfa 1-4, la unidad que se repite es la maltosa.

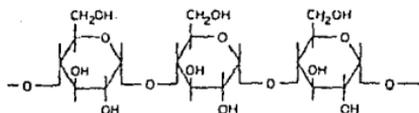


Fig 7. Estructura molecular de la amilosa (6)

El peso molecular de la amilosa esta en función de su origen. Se ha encontrado que los valores para la amilosa varían entre 1.1 a 1.9 millones de daltones, habiéndose además comprobado que las amilosas de los tubérculos presentan mayores pesos moleculares que las de los cereales.

La amilosa en solución es una cadena flexible que al adicionarse con yodo adopta una firme estructura helicoidal, que rápidamente oculta a los átomos de yodo, éste compuesto en inclusión adquiere un color azul puro, el cual es útil para la determinación de la amilosa y como indicador tanto para el almidón como para el yodo.

La amilopectina es una fracción muy ramificada, en la que la mayor parte de los enlaces entre las unidades de D-glucosa de la amilopectina son del tipo alfa 1-4, como en la amilosa. Además, de 4-5 % de las unidades de glucosa están unidas por un enlace alfa 1-6, dando como resultado una estructura ramificada creciente. El enlace de ramificación se encuentra en el disacárido isomaltosa.

La longitud media de sus ramificaciones es de 20 a 30 residuos de glucosa, según la especie de que se trate, aunque hay que tener en cuenta que existen ramificaciones secundarias y de orden superior, y que la longitud de las ramas no es uniforme.

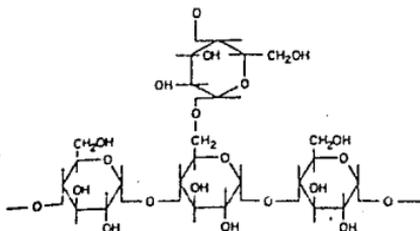


Fig 8. Estructura molecular de la amilopectina (6)

Determinaciones por difracción más recientes han encontrado que el peso molecular de la amilopectina alcanza valores que van de 10 a más de 200 millones de daltones. (1,5,17,53)

3.4 Propiedades de las dispersiones de almidón

Las propiedades funcionales de los almidones varían en gran medida, de los almidones naturales a los modificados.

Las propiedades del almidón natural son inherentes al tipo y variedad de almidón, al tamaño del gránulo, al contenido de humedad, a la fluidez y dispersabilidad en diferentes medios.

Estas propiedades también pueden ser modificadas por diferentes tratamientos químicos y físicos así como por la incorporación de otros ingredientes que afectan las características inherentes al almidón.

Las propiedades más importantes para su empleo en diferentes productos son: temperatura de gelatinización, velocidad de espesamiento, tiempo y temperatura en la que se alcanza la máxima viscosidad y propiedades generales de flujo.

Otras propiedades funcionales de importancia son: la claridad de la pasta, capacidad de retención de agua, estabilidad en el almacenamiento, así como su sabor y textura. Estas propiedades pueden evaluarse por examinación de los cambios que toman lugar cuando el almidón es calentado en dispersiones de agua en alimentos procesados. (6,7,9)

3.4.1 Temperatura de gelatinización.

El almidón es insoluble a temperaturas bajas debido a que fuertes enlaces de hidrógeno mantienen unidos a los polímeros de almidón en el gránulo. No se presentan cambios apreciables en su apariencia microscópica, viscosidad, ni pérdida de la birrefringencia, según se aprecia en la curva de viscosidad contra temperatura de la Fig 9 (zona I).

La absorción de agua es muy limitada y reversible, el grado de hinchamiento es escasamente notable. Sin embargo, si estos enlaces han sido destruidos por tratamientos mecánicos, químicos o por una previa gelatinización y secado del almidón, ocurre el hinchamiento en agua fría.

Algunos almidones son solubles en agua fría cuando se modifican químicamente con la introducción de grupos fuertemente ionizables, como grupos fosfato dibásicos, que causan la repulsión entre las cadenas poliméricas cargadas y es particularmente efectiva para obtener solubilidad en agua fría. Dicha solubilidad dependerá del grado de sustitución que se alcance.

En el punto inicial de gelatinización, algunos de los gránulos se hinchan aumentando considerablemente su volumen y con esto la viscosidad de la pasta hasta alcanzar el punto de máxima viscosidad, según se aprecia en la zona II de la Fig 9, de la curva de viscosidad contra temperatura.

La gelatinización empieza en las zonas intermicelares más accesibles y amorfas del gránulo en donde los enlaces de hidrógeno son más débiles.

La gelatinización se detecta por la pérdida de birrefringencia, incremento en la transmitancia óptica y aumento en la viscosidad. La pérdida de birrefringencia puede determinarse por el Método de Watson (1964).

Los gránulos de almidón de papa son aparentemente mas fragiles y se rompen fácilmente, lo cual explica el rápido descenso en la viscosidad a partir del pico máximo en la zona II de la fig 9. Esto se debe a un rompimiento de los enlaces en las cadenas de amilosa y amilopectina hasta que se alcanza la completa dispersión que corresponde al punto de viscosidad mínima que puede observarse en la zona III de la misma figura. (6,7,9,10,31,49)

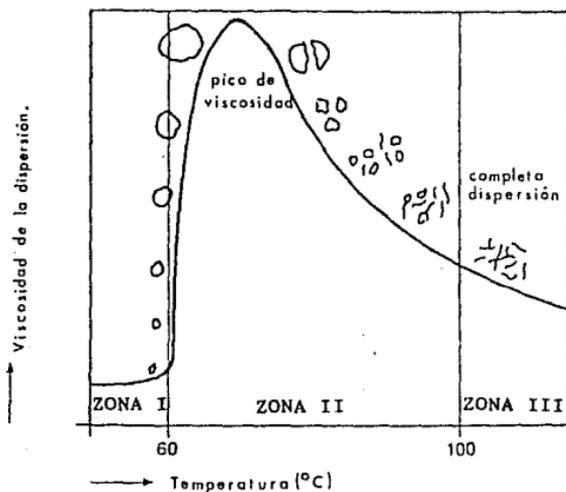


Fig 9. Curva de viscosidad contra Temperatura. Hinchamiento, rompimiento y dispersión de los gránulos de almidón durante la gelatinización. (29)

El rango de temperatura sobre el cual ocurre la gelatinización es característico de cada especie en particular, según se aprecia en la Tabla 6.

Tabla 6. Temperatura de Gelatinización.(1)

Almidón	Temperatura de gelatinización (°C)
Papa	60 - 65
Maíz	75 - 80
Trigo	80 - 85
Yaploca	60 - 65
Maíz cereo	65 - 70

Además, la presencia de sustancias disueltas en el medio acuoso pueden ejercer una gran influencia sobre esta temperatura.

El hinchamiento de los gránulos esta acompañado por el incremento de la solubilidad del almidón, la claridad y la viscosidad de la pasta.

El almidón de papa se hincha rápida y enormemente, pero a la vez presenta inestabilidad, ya que los gránulos hidratados y muy hinchados son frágiles y se rompen por un esfuerzo mecánico y cocimiento prolongado.

Como los gránulos de almidón se hinchan en agua, la suspensión opaca, gradualmente se convierte en translúcida. Sin embargo, de mayor importancia en la industria de alimentos es la claridad final de la pasta. Esta claridad es mucho mayor para pastas de almidón de granos cereos, raíces y tubérculos, como el de papa, que para los almidones de los cereales comunes.

La presencia de otras sustancias, afectan de distintas maneras la claridad de las pastas de almidón, por ejemplo la presencia de azúcares y emulsificantes de alimentos, que cuando se encuentran presentes hacen las pastas mucho más opacas. En muchos alimentos que contienen almidón las partículas suspendidas de proteínas o de otras sustancias enmascaran la claridad de la pasta de almidón lo que influye mucho en la apariencia del producto final.
(7,9,10,17,28,29,31)

3.4.2 Sabor

Otro aspecto importante de calidad en el almidón indirectamente relacionado con la gelatinización es el sabor.

Los almidones naturales tienen un sabor muy característico, éste sabor es minimizado durante el cocimiento y desaparece completamente a ciertas temperaturas que están probablemente dentro del rango de las temperaturas de gelatinización. Sin embargo, se han desarrollado procesos de pregelatinización para eliminar este sabor desagradable. En estos procesos se adicionan generalmente agentes secuestrantes como tetra-sodio-pirofosfato, antes del secado. Este agente forma complejos con trazas de iones metálicos como hierro y cobre, que actúan como catalizadores para la oxidación de los lípidos presentes.

En el almidón de papa este sabor es menos pronunciado debido a su menor contenido de lípidos. (29)

3.4.3 Viscosidad

La propiedad más importante por la cual se adicionan almidones a los alimentos es para modificar su viscosidad como en el caso de sopas, salsas, pudines, rellenos para pays, etc.

El comportamiento de los almidones está ampliamente gobernado por la afinidad de los grupos hidroxilo entre las moléculas, esto es particularmente evidente cuando las pastas de almidón se enfrían, cuando esto sucede, las moléculas de almidón se vuelven menos solubles y tienden a agregarse y en algunos casos a cristalizar.

En polímeros lineales tales como la amilosa, las cadenas rectas pueden orientarse a sí mismas en una alineación paralela de tal forma que un gran número de grupos hidroxilo se encuentran en estrecha proximidad con las cadenas adyacentes. Cuando esto sucede, los grupos hidroxilo forman asociaciones mediante enlaces de hidrógeno y las cadenas se enlazan para formar agregados que son insolubles en agua.

En dispersiones muy diluidas los agregados de cadenas de amilosa precipitan, mientras que en las más concentradas forman un gel. Este proceso conocido como retrogradación es esencialmente un fenómeno de cristalización y un factor importante en los procesos de modificación del almidón y en sus propiedades.

La alineación y la cristalización de la amilopectina está fuertemente inhibida por su estructura ramificada. Por esto la amilopectina tiende a ser soluble formando dispersiones que no serán gel en condiciones normales.

Los factores que afectan la formación y características de los geles de almidón son: tipo y tamaño de los gránulos, concentración, tiempo y temperatura de calentamiento, agitación, tipos y cantidad de ingredientes adicionados, así como tratamientos previos.

El almidón de papa comparado con otros almidones muestra una menor tendencia hacia la formación de gel, y esto podría deberse a su contenido de amilosa, debido a la gran longitud de las moléculas lineales y al elevado contenido de amilopectina. (1,7,17,29)

3.5 Efecto de otros componentes de los alimentos sobre las propiedades funcionales del almidón.

3.5.1 Azúcares

El azúcar presente en las dispersiones de almidón compete por el agua lo que inhibe el hinchamiento de los gránulos y retarda la gelatinización, esto se debe a que los azúcares tienen una mayor capacidad para ligar a las moléculas de agua.

Al incrementar la concentración de azúcares se incrementa también la inhibición del hinchamiento del gránulo y aumenta la temperatura a la cual la birrefringencia desaparece, y disminuye la fuerza del gel de almidón formado. (22,23)

3.5.2 Acidos

Los almidones naturales son generalmente procesados a rangos de pH. de 5 a 7, dentro de este rango, la temperatura de gelatinización no se afecta.

La mayoría de los alimentos se encuentran en un rango de pH. de 4 a 7 a estos valores de pH. se producen sólo efectos menores en la viscosidad durante el procesamiento del almidón en sistemas alimenticios. A valores de pH menores de 3 el almidón está sujeto a degradación hidrolítica durante el procesamiento y almacenamiento. (6,22)

3.5.3 Sales

El efecto de las sales en la gelatinización del almidón es de gran importancia, ya que algunas sales disminuyen y otras incrementan el hinchamiento del gránulo a una temperatura dada.

Es importante notar que la respuesta de los almidones de papa y cereales a electrolitos puede ser sustancialmente diferente, porque el almidón de papa contiene ester enlazado a grupos fosfato, que es mucho más sensitivo a la presencia de otros iones.

El efecto de las sales es dependiente de su concentración y de la temperatura del proceso. La viscosidad de la pasta, puede ser modificada por la interacción de las sales disueltas con los grupos iónicos de las moléculas del almidón en cuestión. (22,23)

3.5.4 Grasas y Surfactantes

Se sabe que las cadenas de ácidos grasos pueden formar complejos helicoidales con la amilosa y que además aquellas cadenas de carbohidratos lineales de 16 o más átomos de carbono reprimen el hinchamiento y la solubilidad de los gránulos de almidón. El grado de este efecto difiere con la estructura química del surfactante, tanto de la parte hidrofílica y longitud de la cadena, como del grado de saturación de la parte lipofílica.

Se ha observado que los surfactantes con largas cadenas inhiben la formación del gel cuando la pasta de almidón se enfría.

Los surfactantes no iónicos tales como los monoglicéridos son ampliamente usados para dar textura a los alimentos que contienen almidón.

Por otra parte, la presencia de los lípidos tiene un efecto negativo en ciertas propiedades físicas de importancia, tales como:

- a. Los lípidos existen como un complejo de inclusión amilosa-lípido lo que disminuye el hinchamiento del gránulo y la solubilización, dando como resultado una menor viscosidad de las dispersiones y un aumento en la temperatura de gelatinización.
- b. La oxidación de lípidos insaturados produce la formación de sabores indeseables (rancidez).
- c. Los complejos amilosa - lípidos ocasionan turbidez en las dispersiones. (22,23,29)

3.5.5 Proteínas

La cantidad de proteínas que se reportan (calculada con $N = 6.25$), incluye péptidos, aminas, aminoácidos, ácidos nucleicos y enzimas.

El sabor y olor a "cocido" característico de los almidones y la tendencia a formar espuma, se atribuye al contenido de proteínas. El almidón de papa contiene solo una pequeña proporción de estas, alrededor de 0.1% por lo que estos efectos son mínimos. (10,22,23,29)

3.6 Aplicaciones y propiedades más importantes del almidón de papa

En muchas aplicaciones el almidón de papa es preferido sobre otros almidones comerciales, debido a las diferencias en su composición y propiedades. La siguiente tabla muestra en forma general los aspectos físicos y químicos más importantes por los que se distingue, dicho almidón.

Tabla 7. Composición y propiedades de almidones naturales

	papa	maíz	trigo	tapioca	maíz céreo
Grasa (%)	0.1	0.8	0.9	0.1	0.2
Proteínas (%)	0.1	0.35	0.4	0.1	0.25
Grupo ester fosfato (%)	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Sabor	bajo	alto	alto	medio bajo	medio
Grado de polimerización	3000	800	800	3000	-
Temperatura de gelatinización (°C)	60-65	75-80	80-85	60-65	65-70
Viscosidad dispersión	muy alta	media	baja	alta	media alta
Claridad de la pasta	clara	turbia	turbia	clara	clara
Resistencia al corte (relativo)	baja	moderada	moderada	muy baja	muy baja
Tamaño de las partículas (micras)	5-100	3-26	1 -40	4 - 35	3 - 26

De la tabla anterior, se puede apreciar que el almidón de papa es el único almidón natural que contiene grupos éster fosfato, mismos que proporcionan las siguientes características (5,29):

- a. Baja temperatura gelatinización.
- b. Gran capacidad de ligar agua.
- c. Alta viscosidad en pastas.
- d. Alta claridad de las dispersiones de almidón.

3.6.1 Grado de polimerización de la amilosa

Un bajo grado de polimerización de las moléculas de amilosa (almidón de trigo y maíz), favorece la retrogradación y disminuye el poder para ligar agua de los productos de almidón. Estas se hacen insolubles (retrogradación) más fácilmente, que aquellas con un alto grado de polimerización tal como el almidón de papa. El material insoluble causa la turbidez y también disminuye la viscosidad. (29)

3.6.2 Temperatura de gelatinización, viscosidad y claridad de las dispersiones de almidón

El almidón de papa tiene la mas baja temperatura de gelatinización y la mas alta viscosidad. Además, de formar dispersiones claras y transparentes mientras que las de los cereales son turbias.

3.6.3 Resistencia al corte

La viscosidad de un almidón puede ser reducida por el efecto de un esfuerzo mecánico durante el mezclado o batido.

3.6.4 Areas de aplicación

Las aplicaciones del almidón de papa natural en productos alimenticios es muy amplia y versátil. La tabla 8, muestra un panorama general de aquellas aplicaciones en alimentos para las cuales el almidón de papa es mas apropiado que otros almidones naturales.

Pastas.

El almidón de papa es preferido debido a su sabor neutro, transparencia y flexibilidad que brinda a las pastas. Se aconseja en estas aplicaciones el uso del agua desmineralizada para obtener mayores viscosidades.

Tabla 8. Aplicación de almidones naturales en diferentes alimentos.(29)

	papa	maíz	trigo	tapioca	maíz céreo
Pastas de harina	+++	+	+	++	+
Fideos chinos	+++	+	+	++	+
Mezclas de polvos secos	+++	+	+	++	+
Botanas extruídas	+++	+	+	++	++
Bisquets	+++	+	+	+	++
Productos cárnicos	+++	++	++	++	++
Surimi/prod.del mar	+++	+	++	+	++
Prod. kosher	+++	+	+	+++	+
Ayuda filtro	+++	+	+	+	+

+++ muy apropiado
 ++ es apropiado
 + no es apropiado

Mezclas de polvos

El almidón de papa es excelente como espesante en muchas mezclas de polvos tales como sopas, salsas, aderezos para carnes, debido a su sabor neutral, baja temperatura de gelatinización, transparencia y textura. El almidón de papa extraseco se usa como agente deshidratante y anticongelante.

Botanas extruídas

El almidón de papa es preferido como agente ligante es botanas extruídas por su regular y alta expansión para obtener botanas crujientes.

Panificación

Los almidones son usados generalmente para reducir la fuerza de la masa y para proporcionar blancura al migajón. Además, se prefiere también en estos productos por su alto poder para ligar.

Productos cárnicos

La gran capacidad para ligar agua del almidón es una de las razones principales para su uso en este tipo de productos, el almidón de papa retiene la humedad durante el procesamiento y almacenamiento de los productos cárnicos y también estabiliza la emulsión de agua y proteína.

En los productos del mar tales como surimi, el almidón de papa da una textura y apariencia natural.

Productos kosher

En este tipo de productos los almidones de maíz, trigo y maíz céreo no pueden ser usados por costumbres religiosas por lo que se emplea ampliamente el de papa.

Ayuda filtro

El almidón de papa se usa como ayuda filtro en la producción de polvos de levadura cuando se emplean filtros rotatorios al vacío, debido al tamaño de sus gránulos y a su pureza.

Otros

Más recientemente, se ha extendido el uso del almidón de papa en la industria de lácteos, en la fabricación de quesos y cremas principalmente.

Por sus propiedades el almidón de papa tiene una amplia variedad de aplicaciones en las diferentes industrias como:

a) Industria Textil

Para dar firmeza a las fibras de la tela y darles resistencia contra la abrasión.

b) Industria del Papel

Para mejorar las propiedades mecánicas del papel y estandarizar calibres, para dar un terminado especial, creando superficies suaves.

Se emplea como adhesivo en la fabricación de cartón y mucílago.

c) Industria Farmacéutica

En la fabricación de tabletas y talcos quirúrgicos.

d) Industria Química

Como anticonglomerante, agente clarificante, medio de fermentación. (3,17,29,53)

4. OBTENCIÓN INDUSTRIAL DE ALMIDÓN DE PAPA

El proceso de obtención de almidón de papa se conoce desde hace mucho tiempo, y existen diversos procesos para su obtención, que van desde los más sencillos (casi artesanales), hasta aquellos que involucran equipos y tecnologías muy sofisticadas. Sin embargo, se observa que en tales procesos se tienen las siguientes operaciones básicas:

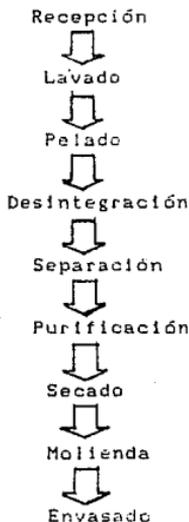


Fig.10 Diagrama de Obtención del Almidón de Papa

4.1 Recepción

Las papas se reciben directamente en transportadores para ser llevadas al área de proceso o almacenamiento.

Los transportadores que se emplean pueden ser: mecánicos o canales de agua, estos últimos, son empleados en el caso de que el producto vaya a procesarse inmediatamente, pues el mismo medio de transporte puede utilizarse como primera etapa de lavado; sin embargo, esto no es recomendable cuando la papa se va a almacenar, ya que las condiciones de humedad excesiva favorecen lo siguiente: la

germinación, proliferación de microorganismos y finalmente la descomposición del alimento. Por lo anteriormente mencionado es preferible el empleo de transportadores mecánicos, que pueden ser : de cangilones, bandas transportadora de diferentes materiales y diseños.

En el caso de almacenar producto, deben observarse las siguientes condiciones para evitar su deterioro;

- el lugar debe ser fresco y bien ventilado.
- la temperatura de 10 - 13 °C.
- la humedad relativa 80 - 90 %
- debe almacenarse en ausencia de luz protegiendo el producto con lonas oscuras.

Estas condiciones deben efectuarse para evitar la disminución en el contenido de materia seca, que ocasionarían, un bajo rendimiento de extracción durante el proceso

4.2 Lavado

La finalidad del lavado es la de eliminar la suciedad adherida a la superficie de la papa, así como piedrecillas ó material extraño que pudiera permanecer durante las siguientes etapas del proceso y afectar la pureza del almidón.

En algunas plantas el lavado se realiza con agua a contracorriente; y el agua sucia se elimina directamente en el drenaje, lo cual eleva considerablemente el gasto de agua hasta aproximadamente 1125 lt/min, lo que hace muy costosa esta operación (4).

En otras plantas se han utilizado sistemas de lavado que pueden ser:

- De dos etapas: en la primera se emplean agentes químicos (fungicidas, bactericidas) que faciliten la eliminación de las impurezas y material extraño de mayor tamaño. En la segunda se lleva a cabo un enjuague con agua corriente empleando sistemas de aspersion o de cepillado.

- En una sola etapa : con agua corriente en tanques que pueden ser de concreto o acero y con un sistema de agitación mecánica por medio de paletas que faciliten la remoción de la suciedad.

Es muy importante que la eliminación de la suciedad se haga en una forma eficiente, ya que de lo contrario la pureza del almidón se verá afectada, además de la presencia de puntos negros que disminuyen su calidad. Por otra parte si hay contaminación microbiana se propiciarán cambios

indeseables en el producto (producción de metabolitos tóxicos y cambios en el sabor).

Esta etapa de lavado constituye un acondicionamiento de la materia prima para las subsecuentes operaciones, haciendo mas eficiente la separación de sólidos. Esto cobra especial interés cuando se pretende dar un uso posterior a los sólidos de papa. (43)

4.3 Pelado

El pelado es una operación opcional que generalmente se recomienda para eliminar la cáscara y suciedad que pudiera permanecer después del lavado.

Para tal efecto, se emplean soluciones de hidróxido de sodio para suavizar la cáscara y facilitar su remoción. Sin embargo, esto no es muy recomendable pues estudios más recientes han demostrado que el uso de estas soluciones combinadas con tratamientos térmicos, favorecen las reacciones de oscurecimiento así como la conversión de almidones en azúcares, hidrólisis de almidón, pérdida de carotenos y disminución del rendimiento por pérdida de tejido.

La forma más generalizada de efectuar esta operación es en húmedo y por abrasión, empleando para tal efecto peladoras mecánicas en forma cilíndrica, con fondo giratorio y superficie rugosa. Esta es una operación más recomendable, ya que no altera la estructura del producto y se obtienen buenos rendimientos. La cantidad de tejido que se elimine dependerá entre otros factores, del tiempo de operación, de la variedad de la papa, del tratamiento previo como: remojo, adición de soluciones alcalinas y tratamientos térmicos. (42,46,51)

4.4 Desintegración

Esta es una operación de reducción de tamaño, que se lleva a cabo en húmedo. Durante ésta, los sólidos de papa se desintegran de tal manera que ocurra un desgarramiento de la pared celular que permita la salida de los gránulos de almidón. (3,48)

Para tal efecto se han empleado diferentes desintegradores que combinan el efecto de las centrifugas con el de los molinos de martillos.

Otro tipo de desintegradores, son los que están constituidos por un tambor cilíndrico perforado, equipado con navajas intercambiables a lo largo de la periferia del tambor, que fuerzan la pulpa a pasar a través de las aberturas desintegrándola. Este equipo se muestra la fig 11.

Más comunmente, se utilizan molinos de martillos verticales con cribas integradas, con aberturas que varían de 4.8 a 6.4 mm aproximadamente ver figura 12. (3,49)

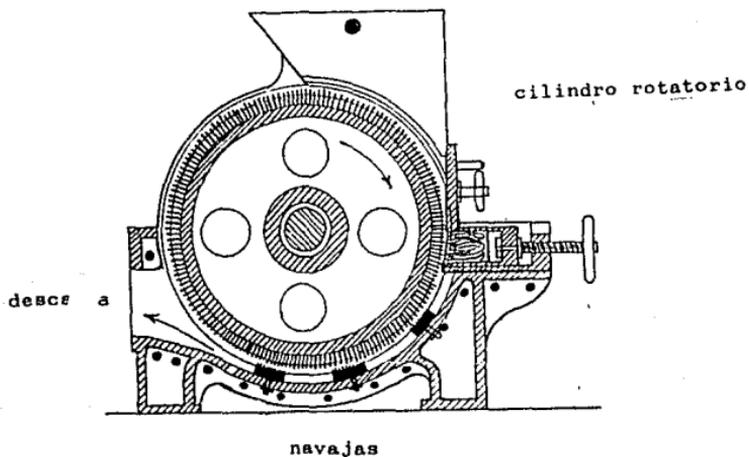


Fig 11. Desintegrador de tambor con navajas intercambiables (50)

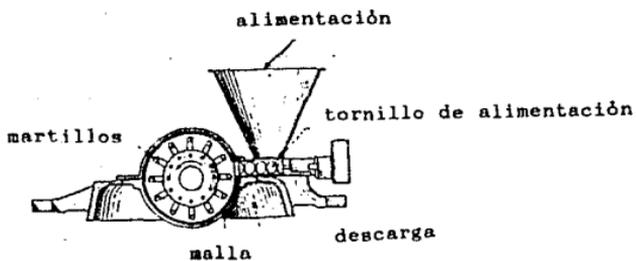


Fig 12. Molino de martillos verticales. (27)

Los equipos que se pueden utilizar en esta operación son muy variados, pero es necesario considerar que el tipo de fuerza que se emplee no dane la integridad del gránulo, para no afectar la capacidad de desarrollar viscosidades en las pastas y por tanto sus propiedades funcionales.

Por este motivo se usan mas ampliamente los molinos de martillos, pues el tipo de fuerza que emplean (impacto) que es el resultado de la acción de los martillos que giran sobre un eje horizontal, no dañan la estructura del almidón; los sólidos son retenidos hasta que alcanzan un tamaño lo suficientemente pequeño para pasar a través de la criba.

En el momento de la desintegración junto con el almidón se liberan enzimas que causan el oscurecimiento, por lo que se recomienda emplear antioxidantes como el dióxido de azufre o bisulfito de sodio, cuyo uso se ha limitado por la FDA (Food & Drug Administration) quien ha regulado el uso de estas sustancias, de tal forma que la cantidad de sulfito residual no sobrepase las 150 ppm.

Inhibir el oscurecimiento adquiere importancia cuando interesa recuperar los sólidos para su posterior uso, ya que el almidón como tal no sufre este tipo de oscurecimiento.

Sin embargo se estan desarrollando estudios encaminados a encontrar sustancias inocuas como agentes antioxidantes. Thomas Langdon y colaboradores, reportan muy buenos resultados para evitar el oscurecimiento en papas, empleando una combinación de ácido cítrico, ácido ascórbico y sorbato de potasio. (16)

4.5. Separación de sólidos.

Esta operación, tiene por objeto separar la lechada de almidón dejándola libre de la pulpa y de las impurezas insolubles.

Dado que esta es una separación de sólidos gruesos, generalmente se emplean tamices de diferentes aberturas, estos pueden ser rotatorios, que consisten en un impulsor que manda el material desintegrado a través de mallas de 80 - 120. (49)

Para evitar que rápidamente se tapen las aberturas de los tamices y tener que cambiarlos continuamente, se pueden adaptar tamices en serie, para retener diferentes tamaños de partículas de tal forma de dejar la lechada libre de estas impurezas y agilizando la operación.

4.6 Purificación

El objetivo de esta operación, es el de eliminar las fibras más finas así como las impurezas solubles producto de la desintegración: proteínas, amidas, grasas y pigmentos. Para lograrlo, se utilizan diferentes métodos que involucran

una o varias etapas , así como diversos equipos:

En los sistemas mas sencillos de purificación se emplean tanques de sedimentación o canales para el mismo fin, que pueden ser de diferentes materiales. En estos, se deposita el almidón formando una pasta en cuya superficie puede haber impurezas que posteriormente se eliminan raspandola con una cuchilla, la cantidad de impurezas que se depositen (fibras pequeñas) dependerá del tamaño de abertura de criba que se haya empleado en la operación anterior de separación. (3,33,49,50)

El proceso de separación se puede efectuar por medio de centrífugas, que pueden ser batch, continuas, de un solo cuerpo, etc. La velocidad de operación recomendada es de 1500 rpm. Ver fig 13.

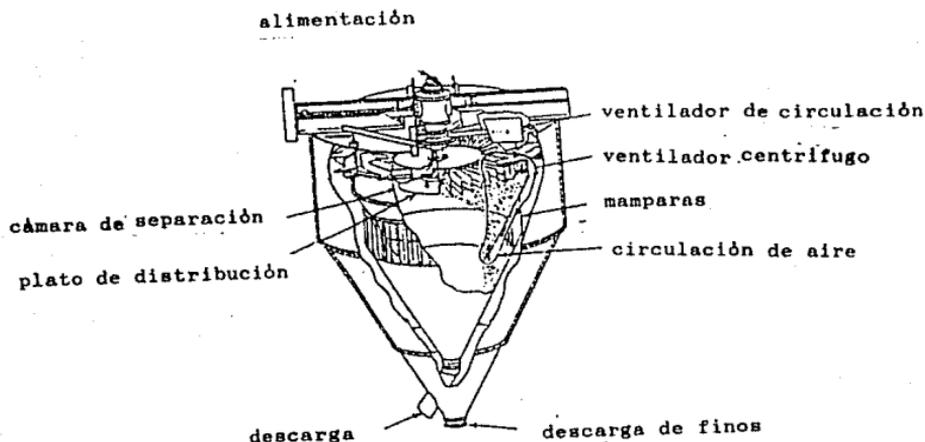


Fig 13. Separador centrífugo. (52)

Dependiendo del uso que se le vaya a dar; al almidón se puede someter a una segunda purificación resuspendiendo en agua y sometiendolo nuevamente a este proceso.

Es muy importante que esta operación se realice en forma eficiente puesto que repercutira en la calidad del almidón al final del proceso.

4.7 Secado

El secado es una operación que se emplea con la finalidad de eliminar la humedad del almidón hasta un porcentaje que puede variar desde un 0% hasta un 20.5% aproximadamente, dependiendo del uso que se le vaya a dar. (29)

Debido a la facilidad que presenta la pasta de almidón para secarse se pueden utilizar diversos sistemas de secado:

4.7.1 Secado a contracorrientes: en secadores de charolas o túneles con diferentes arreglos y dimensiones. Las temperaturas que se reportan en la bibliografía se encuentran en un amplio rango que va desde los 35°C (93), hasta los 143°C (49), empleando este mismo sistema de secado. Ver Fig 14.

4.7.2 Secado por aspersión. Para el secado por aspersión de la pasta de almidón se han reportado las siguientes temperaturas : temperatura de entrada 175°C y temperatura de salida de 46°C indicando que se han obtenido buenos resultados, pues aunque estos equipos emplean temperaturas altas los tiempos de residencia son tan cortos que no ocasionan daños en el producto. Estos equipos requieren de una elevada inversión inicial, sin embargo su costo de operación es relativamente bajo .Ver Fig 15.

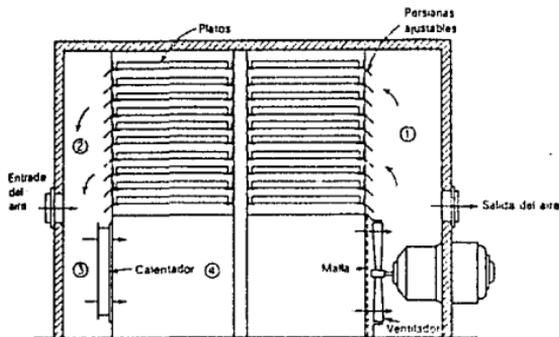


Fig 14. Secador de charolas. (44)

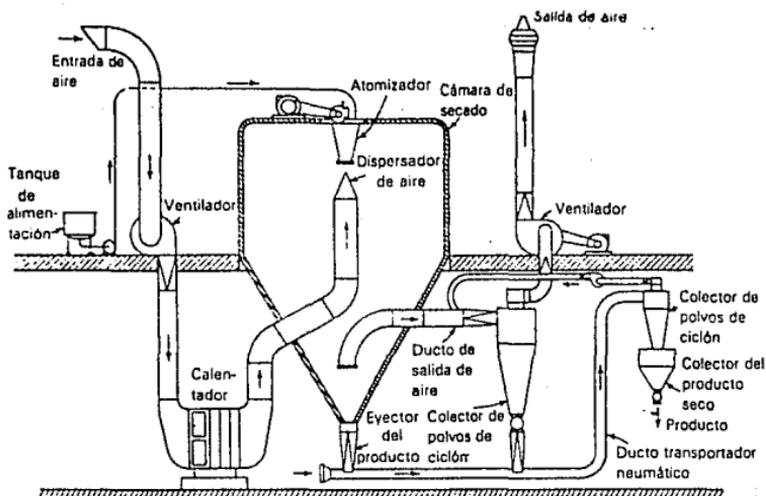


Fig 15. Secador por aspersión.(44)

Recientemente se han desarrollado sistemas de Secado de precisión que se aplican a productos muy variados, incluyendo subproductos de papa, este sistema emplea un método que combina la transferencia de calor por conducción y convección poniendo en contacto el producto con un flujo de aire a contracorriente y bolas de diferentes materiales para aumentar las superficies de contacto, estas pueden ser de diversos materiales como: cerámica, aluminio, acero y plástico, obteniendo buenos resultados al reducir tiempos, costo y espacio ver fig 16.(35)

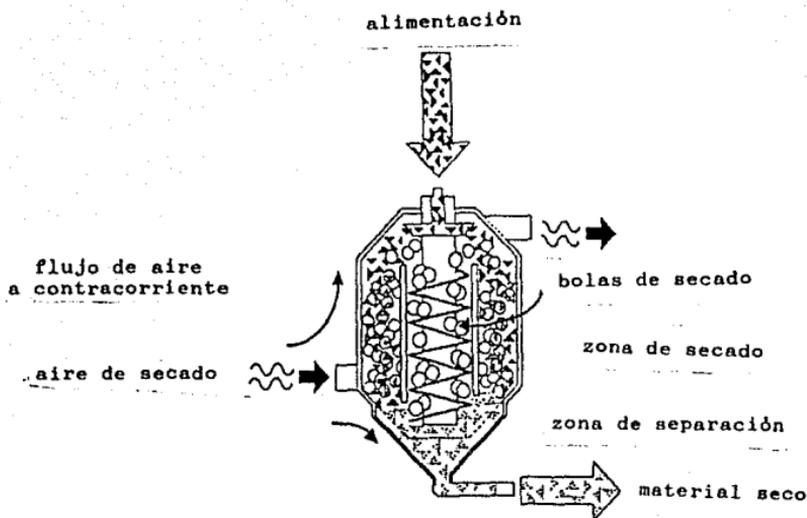


Fig 16. Secado por convección - conducción. (35)

En algunas plantas que emplean tecnología sofisticada, se somete la pasta de almidón a un proceso de eliminación del exceso de humedad en un filtro rotatorio al vacío como tratamiento previo al secado. (4)

Esta operación se puede llevar a cabo mediante sistemas y equipos muy variados. Sin embargo, algunos criterios que se deberán tomar en cuenta para la selección del mismo son: capital disponible, volúmenes a manejar (capacidad de la planta) características generales del proceso de obtención, sistema de operación (batch / continuo), recursos técnicos disponibilidad y materiales etc.

Es muy importante observar que las condiciones de operación no afecten la calidad del producto final.

4.8 Molienda

Dependiendo del sistema de secado que se utilice, el almidón de papa se puede obtener en forma de polvo fino en el caso de secado por aspersión, o en pequeños terrones (para casi todos los otros equipos).

El almidón puede comercializarse como almidón perlado o como polvo fino, por lo que la molienda constituye una operación opcional que puede efectuarse con: molinos de martillos, de disco y de bolas.

Se recomienda el uso de molinos con bolas de madera, ya que el tipo de fuerza que emplea, no daña al gránulo en su integridad. Ver fig 17.

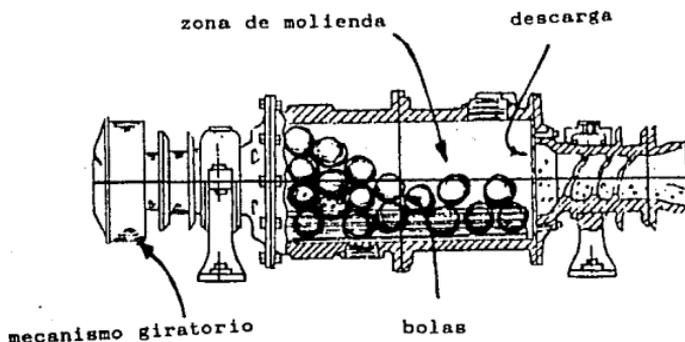


Fig 17. Molino de bolas
Denver Equipment & Co.

4.9 Envasado.

El almidón perlado o en polvo se puede envasar en bolsas de papel kraft con costura de algodón y con un peso de 25 - 50 kg.

El envase, debe ofrecer protección al producto contra la humedad y resistencia durante el almacenamiento para que pueda conservarse en óptimas condiciones durante largos períodos. (3,11,13,18,19,33,35)

Los procesos empleados para la obtención de almidón de papa pueden ser tan variados, como variados son los equipos que se utilizan, y van desde los más sencillos hasta los más sofisticados. Es importante mencionar que las condiciones en las operaciones críticas, repercuten definitivamente en la calidad del producto, así como en el rendimiento general del mismo y están descritas vagamente. De ahí la importancia de evaluar y fijar dichas condiciones.

5.0 GENERALIDADES E IMPORTANCIA DE LAS OPERACIONES CRÍTICAS EN EL PROCESO

5.1 Lixiviación

La lixiviación es una disolución preferente de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto con un disolvente líquido. (B.44)

Para llevar a cabo esta separación, se emplea un disolvente en el que el material de interés se pueda disolver, por lo que es necesario poner el sólido en contacto estrecho con la fase líquida (solvente), para que de esta forma el soluto pueda difundirse desde este hasta el seno del líquido para su posterior recuperación.

En algunas ocasiones cuando se emplea el agua como vehículo para acarrear un determinado componente, el proceso de lixiviación recibe el nombre de lavado o elución.

El proceso general de lixiviación involucra los siguientes etapas.

- a. El disolvente se transfiere hasta la superficie de los sólidos.
- b. El disolvente penetra en el sólido y se difunde en él.
- c. El soluto se disuelve en el disolvente.
- d. El soluto se difunde a través de la mezcla de sólido y disolvente hasta la superficie de la partícula.
- e. Finalmente el soluto se transfiere a la solución general.

Es difícil aplicar una teoría definida para explicar la acción de la lixiviación, ya que son muchos los factores que determinarán la velocidad y eficiencia de esta operación, entre los que podemos mencionar los siguientes:

- Naturaleza de sólido y su estructura.
- La rapidez de disolución del soluto en el disolvente, en el interior del sólido.
- La forma en la que se encuentra presente el soluto en el sólido: dentro de una estructura celular, libre o en una estructura porosa que facilita el proceso.
- Tratamientos previos a los sólidos como secado, que

puede modificar la estructura del sólido y con ello este proceso.

- El tamaño de la partícula.
- La temperatura, puesto que puede facilitar la disolución.
- La agitación, aumentando la velocidad de difusión.

La lixiviación puede llevarse a cabo en una o en varias etapas, esto último con el objetivo de incrementar el rendimiento de la operación, agotando los sólidos y enriqueciendo el disolvente. Para ello se han diseñado diversos sistemas de lixiviación, como el de Shanks, que es uno de los más populares, así como modificaciones al mismo, de las cuales el Rotocel es de los más generalizados.

En materiales biológicos como en el caso de la papa, existen complejidades adicionales, ya que presentan una estructura celular dentro de la cuál se encuentran los componentes deseados y que en algunos casos no son solubles como el almidón. Por lo que no se verifica un proceso de difusión molecular, siendo necesario llevar a cabo un proceso mecánico previo para romper la pared celular y poder liberar más fácilmente el almidón mediante el empleo de agua como vehículo, por lo que usualmente esta operación es similar a un proceso de lavado que se conoce con el nombre de elución. (8,44)

En la obtención del almidón de papa se emplea agua que no contenga una elevada cantidad de minerales, ya que estos pueden interaccionar con grupos radicales, que modifican la estructura y propiedades del almidón.

5.2 Secado

El secado es una operación que se refiere a la eliminación de agua de un producto hasta que este alcance las condiciones de equilibrio con el medio circundante que generalmente es aire caliente. (8,18,44)

Durante el secado se puede eliminar únicamente el agua libre, que está definida como la humedad del sólido en base seca, menos la humedad de equilibrio. La humedad de equilibrio se alcanza cuando la presión de vapor del agua que contiene el sólido, se iguala con la presión parcial del agua en el sistema.

La presión de vapor que ejerce la humedad que contiene un sólido húmedo depende de varios factores: del porcentaje de humedad, de la naturaleza del sólido y de la temperatura.

El secado es una operación en la que están involucradas la transferencia de calor y de masa en una forma simultánea.

La transferencia de masa (humedad) en el sólido durante el secado, se efectúa mediante los siguientes mecanismos: difusión del líquido, capilaridad y por gradiente de presiones.

1. Difusión del líquido.

Se verifica cuando existe un gradiente de concentraciones entre el interior del sólido y su superficie. Es el mecanismo que se presenta más comúnmente en el secado de sólidos no porosos.

2. Capilaridad.

Es el mecanismo que se presenta cuando la humedad libre se desplaza a través de capilares y espacios vacíos, debido a fuerzas interfaciales que constituyen la fuerza impulsora que permite la eliminación de agua. Este mecanismo se presenta más comúnmente en el secado de sólidos granulares y porosos.

3. Gradiente de presiones.

Se presenta un gradiente de presiones debido a la pérdida de humedad en la superficie del sólido, provocando que esta se encoge. Este fenómeno origina la salida del agua en la que el sólido "se exprime". Este mecanismo de secado es común en el secado de algunos materiales coloidales y fibrosos.

Por otra parte, la transferencia de calor se verifica cuando debido a una diferencia de temperaturas, que constituye la fuerza impulsora, el calor fluye de la región de alta temperatura a la de temperatura más baja, es decir desde el medio de calentamiento, que es el aire caliente hacia el centro del sólido que sería la parte fría.

A medida que ocurre la transferencia, se eleva la temperatura del sólido y con éste la del agua, permitiendo que se evapore. La transferencia de calor puede ocurrir mediante uno o la combinación de los tres mecanismos de transferencia de calor que pueden ser: conducción, convección y radiación, pudiendo estar en el caso del secado involucrados los tres mecanismos.

El proceso de secado se lleva a cabo en diferentes períodos, uno de velocidad constante y otro de velocidad decreciente.

En la fig 18. se muestra una curva típica de velocidad de secado, en la que se observan los dos períodos.

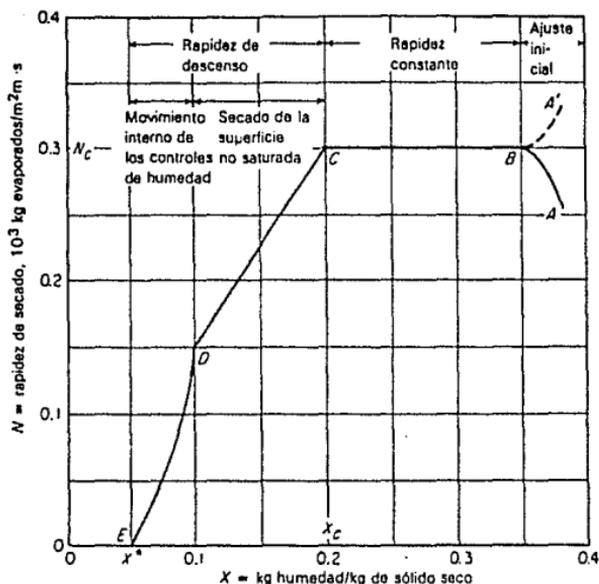


Fig 18. Curva de Velocidad de Secado. (44)

En el primer período (B-C), se conoce como período de velocidad constante. Al inicio del secado la superficie del sólido se encuentra completamente húmeda y la velocidad de evaporación es independiente de la naturaleza del sólido, siendo esta la humedad libre. Esta etapa se presentará mientras la superficie se mantenga húmeda, esto sucede cuando la velocidad de evaporación en la superficie es igual a la rapidez con la que la humedad migra del interior a dicha superficie.

En el segundo período (C-D), se conoce como período de velocidad decreciente, que es un secado superficial no saturado y comienza con la aparición de zonas secas en la superficie del sólido, que corresponde al contenido crítico de la humedad libre (X_c).

Este es el período limitante del proceso de secado y la velocidad con la que se efectúe, dependerá básicamente del mecanismo de eliminación de la humedad. A medida que transcurre el secado el gradiente de concentraciones de

humedad decrece, por lo que la eliminación de la humedad remanente se dificulta.

El segundo período de velocidad decreciente (D-E) se presenta cuando la superficie está seca en su totalidad y el plano de vaporización se va desplazando debajo de la superficie del sólido hasta llegar a la corriente de aire y alcanzar la humedad de equilibrio (X^*). (8,44)

En algunos casos la pérdida de humedad es tan gradual, que no se detecta un punto de inflexión, que nos permita determinar entre un período de velocidad constante y uno decreciente.

Las condiciones en las que se lleve a cabo el secado son muy importantes en las características finales del producto, principalmente cuando se trata de materiales biológicos.

Se pueden ocasionar daños físicos o químicos tales como: agrietamiento de la superficie, encogimiento, caramelización, endurecimiento de la superficie con la consecuente formación de una costra, lo cual provoca un detrimento en la calidad del producto, en su apariencia física, desarrollo de sabores y olores desagradables así como dificultad para rehidratarse.

En el caso de los almidones naturales es especialmente importante controlar la temperatura de secado ya que podría rebasarse la temperatura de gelatinización, misma que provocaría cambios irreversibles en la estructura del gránulo.

5.3 Sedimentación

La sedimentación es una operación de separación, en la que las partículas se separan del fluido por la acción de las fuerzas gravitacionales sobre dichas partículas.

La velocidad de sedimentación dependerá de algunos factores como: tamaño y forma de la partícula, densidad relativa del sólido y del líquido y de la viscosidad del líquido.

La sedimentación puede ser libre o frenada. Será libre cuando las partículas están a una distancia suficiente de las paredes del recipiente y de otras partículas, de tal manera que no afecte a su caída. Cuando la relación del diámetro de la partícula al diámetro del recipiente no sobrepasa de 1:200 o cuando la concentración de las partículas en la solución no llega a 0.2 %, la interferencia es inferior al 1%. Cuando las partículas están muy juntas, se sedimentan a velocidad menor y al proceso se

le llama sedimentación frenada.

La velocidad de sedimentación esta influenciada por tres tipos de fuerzas que actuan sobre las partículas: fuerza de gravedad (Fg), Fuerza de flotación (Fb) y Fuerza de retardo (Fd), según se aprecia en la fig 19. (8,44)

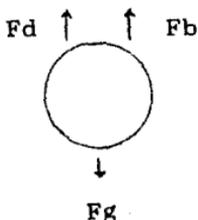


Fig 19. Fuerzas que actuan sobre una partícula durante la sedimentación.

La operación de sedimentación está fundamentada en la Ley de Stokes, que es resultado de un análisis de las fuerzas que determinan el movimiento de una partícula relativa a un medio que se supone estático.(37)

La ley de Stokes hace las siguientes consideraciones:

1. Las partículas son esféricas y de un tamaño uniforme.
2. Se considera solo la interacción de una partícula en un medio infinito.
3. Se considera una temperatura constante.
4. El medio líquido es continuo en comparación con las dimensiones de la partícula, siendo válida para sistemas coloidales.
5. Se considera un regimen laminar (sin turbulencia).

Con la ley de Stokes se puede determinar la velocidad terminal de sedimentación mediante la siguiente ecuación:

$$V_t = \frac{g D_p^2 (d_p - d)}{18 \mu}$$

Donde:

- Vt: velocidad terminal (micras / seg).
Dp: diametro de la partícula (micras).
dp: densidad de la partícula (g/ml).
d: densidad del fluido (g/ml).

- u: viscosidad del líquido (cp).
- g: aceleración de la gravedad (cm/seg²).

Esta ecuación puede ser utilizada para el cálculo de la velocidad de sedimentación de una manera aproximada, ya que las suposiciones bajo las cuales se estableció esta ley, son para un sistema ideal.

En un sistema real, no se tiene un tamaño de partícula uniforme, además de que la forma de las mismas no es siempre esférica. Así mismo, la ley presupone la sedimentación de una sola partícula, sin interacciones, lo cual difícilmente se presenta en una operación real. Además, pueden existir gradientes de temperatura, mismos que no contempla dicha ley. (Schaw, Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos). (37)

6. JUSTIFICACION

No obstante la importancia del almidón de papa, su producción en nuestro país no esta contabilizada. Por otra parte se importan subproductos de papa en volúmenes cada vez mayores, que indican una demanda interna mayor a la producción. Las importaciones alcanzadas en el año de 1988 para el mes de Junio reportan un volumen de 890.92 ton (Sria. de Comercio y Fomento Industrial). En la tabla 9 se muestra el volumen de las importaciones al mes de Junio así como los países de procedencia.

Tabla 9. Volumen de importación al mes de Junio.

	País	Volumen (kg)
Feculas de mandioca o papa		890 927.9
	Rep. Federal Alemania	14 969.1
	Bélgica - Luxemburgo	47 517.6
	Estados Unidos	120 959.3
	Francia	281 020.0
	Países bajos	408 750.0
	Polonia	17 712.0

La importación de productos procesados, implica un detrimento de nuestra economía y una mayor dependencia del exterior.

Por otra parte, las últimas cifras oficiales del volumen de producción de papa que se tienen, corresponden a 1986 y ascienden a un total de 1 200 000 ton., de las cuales del 25-30% es merma. Este porcentaje, representa aproximadamente unas 300 000 ton. anuales de producto que se encuentra fuera de las especificaciones que indica la Norma Oficial Mexicana.

Los principales defectos que se presentan en éste producto son: papa muy chica o demasiado grande (tamaño no comercial), papa dañada, papa con zonas verdes y/o deformaciones, con pudriciones.

Una parte importante de esta merma, es susceptible de emplearse como materia prima en la elaboración de almidón y subproductos de papa. Con ello se aprovecharía un producto que actualmente se desperdicia, incrementando con esto su valor agregado y reduciendo de alguna forma los crecientes volúmenes de importación.

En este trabajo se plantea una alternativa para el aprovechamiento de la merma de papa alfa, para la obtención de almidón natural, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos.

7. OBJETIVOS

7.1 Objetivo General.

Estudiar el proceso de obtención de almidón de papa utilizando como materia prima papa variedad alfa clasificada como merma, mediante una tecnología sencilla de fácil implementación.

7.2 Objetivos Particulares.

1. Analizar el efecto de algunas de las variables involucradas en la lixiviación del almidón de papa tales como: tamaño de partícula, tiempo de lixiviación, agitación, y número de etapas sobre el rendimiento de extracción.

2. Evaluar el tiempo y velocidad de sedimentación del almidón de papa.

3. Evaluar el efecto de la temperatura de secado sobre la viscosidad desarrollada por las pastas de almidón.

4. Estudiar el efecto del tipo de fuerza empleada durante la molienda sobre la viscosidad desarrollada por las pastas de almidón.

5. Comparar el producto obtenido con uno comercial.

8. DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA EMPLEADA

Se trabajo con papa variedad alfa, clasificada como merma obtenida semanalmente de INDALMEX, Bodegas Aurrera.

Durante toda la experimentación se obtuvo papa que provenía de la misma región, de los Mochis Sinaloa, con ello se trato de eliminar todos aquellos factores que pudieran ocasionar una variación adicional a la inherente a la materia prima, como se mencionó en la sección 2.2, existen muchos factores que afectan el contenido de materia seca en el tubérculo.

8.1 Manejo y transporte

El producto se transporta a granel o en arpillas (costales tejidos de yute), en trailers de 30 ton aprox. o en tortons de 18 - 20 ton. con lonas de protección color oscuro.

El transporte desde el campo hasta las bodegas de INDALMEX, situadas en Cuautitlán, la carretera México-Queretaro, tarda aproximadamente 3 días

8.2 Recepción.

El producto se recibe y se almacena hasta un periodo no mayor de 3 días, antes de ser procesado, en donde se verifican las siguientes operaciones:

- lavado.
- selección.
- clasificación.
- distribución.

El lavado se efectúa con agua corriente posteriormente se somete el producto a un cepillado y finalmente un enjuague. La papa se selecciona y se clasifica, separandolas en grupos de acuerdo a las siguientes categorías:

- Empaque Aurrera, que corresponde a la calidad México Extra, de acuerdo a la norma oficial mexicana. Apéndice 1.

- Papa a granel, que corresponde a la calidad México I y México II de la norma oficial. Apéndice 1.

Además, se encuentra la papa que esta fuera de ésta clasificación y que se considera merma, pues tiene un tamaño que no es el comercial, generalmente mucho mayor, presenta deformaciones, la superficie puede estar manchada (con zonas verdes o más oscuras), tener la superficie rugosa etc. por lo que se le considera sin valor.

La cantidad de papa merma varía según la época del año debido a diferentes factores que son principalmente de tipo climatológico como el exceso de humedad, que promueve el deterioro de estos tubérculos.

En general se puede decir que de un 25 - 30% aprox. de la papa que se recibe esta fuera de clasificación.

9. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

La fase experimental se dividió en tres etapas.

Primera etapa. Revisión, análisis y práctica de diferentes métodos para la determinación del almidón de papa; ya que esto era fundamental para evaluar los rendimientos obtenidos en las etapas de lixiviación y sedimentación experimentadas.

Segunda etapa. Obtención del almidón de papa, estudiando y evaluando las operaciones correspondientes, para dar respuesta a los objetivos planteados.

Tercera etapa. Evaluación del almidón obtenido, comparándolo contra uno comercial.

9.1 Primera etapa: Selección de un método para la determinación del almidón de papa.

Para evaluar adecuadamente el rendimiento del almidón en las etapas del proceso que se eligieron para estudiar, fue necesario seleccionar un método que fuera confiable, repetible, práctico y factible de llevarse a cabo en el laboratorio de Análisis de Alimentos, de esta Facultad. Para tal finalidad se revisaron los siguientes métodos:

- Polarimétrico (28)
- Iodométrico (28)
- Espectrofotométrico (28)

9.2 Segunda etapa: Obtención del almidón de papa

Al proceso general de obtención industrial de almidón, descrito en el capítulo 4, se le hicieron algunas modificaciones adaptándolo a las condiciones del laboratorio y simplificando también en lo posible las operaciones involucradas, quedando de la siguiente manera:



Fig 20. Diagrama de obtención del almidón.

Comparando el diagrama de la fig 10 que corresponde a la obtención industrial del almidón, se hicieron las siguientes modificaciones:

La etapa de lavado se omitió, debido a que el producto empleado se había sometido a esta operación previamente en las bodegas de INDALMEX. Por otra parte, dado que el producto empleado estaba fuera de especificación comercial, se sometió a una selección que consistió en la eliminación parcial o total de las papas que presentaban severas pudriciones.

En el proceso industrial (fig 10), la extracción del almidón se efectúa de manera simultánea junto con la desintegración. En esta operación son arrastrados sólidos de papa desintegrados que aún contienen almidón (sólidos semilagotados), por lo que esta operación se debe efectuar en varias etapas para mejorar el rendimiento.

Por esta razón se incluyó en este proceso una etapa adicional de extracción para proporcionar un tiempo suficiente de contacto entre los sólidos y el solvente, que permitiera la salida del almidón y dejar a los sólidos agotados en una sola etapa.

Recepción.

Las papas se colocaron en cajas de cartón con ventilación en un lugar oscuro, a temperatura ambiente hasta que fueran procesadas, por un período no mayor de una semana.

Selección.

Se eliminaron las papas que presentaban severas pudriciones debidas al ataque de hongos y bacterias, para evitar el riesgo de contaminación del producto.

Pelado.

Se llevo a cabo manualmente eliminando toda la cascara.

Desintegración.

Para llevar a cabo la desintegración se empleo un molino de tornillo con tres aberturas de criba que fueron: 6 mm., 3mm., y 1.5 mm. realizando previamente un troceado del producto para facilitar la operación.

Extracción.

En esta operación se ponen en contacto los sólidos desintegrados de la papa, con un solvente fresco, en este caso agua, que se emplea como vehiculo para facilitar la salida del almidón, sometendolos al efecto mecánico de la acción de una propela.

Las variables que se manejaron fueron: el tamaño de partícula, tiempo de lixiviación o extracción, número de etapas, renovando el solvente, y la agitación para encontrar las condiciones con las que se obtiene el mayor rendimiento.

Separación de la fibra.

Consistió en eliminar los sólidos de papa agotados empleando para tal efecto un tamiz malla 60 y facilitar la sedimentación del almidón en la siguiente operación.

Sedimentación de la lechada.

Esta operación consistió en dejar sedimentar la lechada para separar el almidón del líquido sobrenadante, decantarlo y posteriormente obtener una pasta del almidón.

Secado.

La pasta se seco en una estufa de laboratorio sin circulación de aire y con control de temperaturas, en charolas de aluminio de 23.5 x 17.5 cm. con un espesor de la pasta de 6 +/- 0.2 mm. manejando temperaturas: 55, 65, 75 y 85 °C.

Molienda.

El almidón seco que se obtiene en forma de pequeños terrones que deben ser molidos posteriormente para reducirlos a un polvo fino.

La molienda se realizó en dos equipos de laboratorio:

- en un molino de bolas de cerámica.
- en un molino de cuchillas.

Envasado.

Las muestras de almidón se guardaron en frascos de vidrio limpios y cerrados, para analizarlos posteriormente.

9.2.1 Diseño Experimental

Para estudiar el proceso de obtención de almidón de papa y dar respuesta a los objetivos planteados, la parte experimental se dividió en 4 fases:

9.2.1.a Primera fase. Extracción del almidón.

Se planteó un diseño experimental para determinar la influencia de las variables seleccionadas, tamaño de partícula, agitación, tiempo de lixiviación, no. de etapas, manejando los siguientes niveles de variación:

Variablen independientes	Niveles de variación	
- Tamaño de criba	3	6 mm. 3 mm. 1.5 mm.
- Agitación	2	con agitación sin agitación

- | | | |
|--------------------------|---|--|
| - Tiempo de lixiviación | 3 | 20 min.
40 min.
60 min. |
| - Sistema de lixiviación | 2 | renovando el solvente
sin renovar el solvente |

Nivel de repetición : 2

La variable de respuesta empleada para evaluar la influencia de dichas variables independientes, fue el rendimiento de la extracción en porcentaje, cuantificando la cantidad de almidón presente en los sólidos desintegrados al inicio de la extracción y después del tratamiento, obteniendo por diferencia la cantidad de almidón extraído, que se calculó de la siguiente forma.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{A \text{ ex. (100)}}{A_0}$$

$$A \text{ ex.} = A_0 - A_1$$

Donde:

- A ex. = Almidón extraído (g).
 A₀ = Almidón en los sólidos frescos (g).
 A₁ = Almidón en los sólidos agotados (g).

Primeramente, se seleccionaron dos tamaños de abertura de la criba (6mm y 3mm), ambos en un proceso con y sin agitación, para evaluar el rendimiento de la extracción a los 20, 40 y 60 min. efectuando los experimentos por duplicado, quedando de la siguiente manera:

Tamaño de criba

6 mm.						3 mm.					
Tiempo de lixiviación (min.) Con agitación			Sin agitación			Tiempo de lixiviación (min.) Con agitación			Sin agitación		
20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nivel de repetición: 2
Total: 24 eventos.

Una vez concluido el experimento anterior, se seleccionaron las variables con las que se obtenían los mejores rendimientos en la extracción, para realizar el siguiente experimento, y determinar la influencia del sistema de lixiviación, es decir, renovando el solvente (en tres etapas y evaluando a los 20, 40 y 60 min.) o sin renovación del mismo (es una sola etapa, pero evaluando igualmente a los 20, 40 y 60 min).

Tamaño de criba seleccionado: _____

Rendimiento (%)					
En una etapa (sin renovación del solvente)			En tres etapas (con renovación del solvente)		
20	40	60 (min)	20	40	60 (min)
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Nivel de repetición: 2
Total: 12 eventos

Concluida esta primera etapa experimental, se determinó la influencia de cada una de las variables sobre el rendimiento en esta operación, analizando los datos mediante un análisis de varianza. Ver apéndice 3

9.2.1.b Segunda fase. Evaluación del tiempo de sedimentación

Se realizó la evaluación del tiempo de sedimentación del almidón en la lechada, tomando muestras de la misma en un punto fijo y a diferentes tiempos, para determinar la concentración de almidón en la suspensión y por diferencia, calcular la cantidad de almidón sedimentado, quedando de la siguiente forma:

Almidón sedimentado (%)

Tiempo de lixiviación

evento	20 min.	40 min.	60 min.
1	-	-	-
2	-	-	-

Nivel de repetición: 2

Total: 6 eventos

9.2.1.c Tercera fase. Secado de la pasta

La pasta de almidón se seca a diferentes temperaturas evaluando el efecto de la misma al construir curvas de viscosidad contra temperatura.

Variable independiente	Nivel de variación	
Temperatura	4	55°C 65°C 75°C 85°C

No. de repeticiones: 2

Total de eventos: 8

9.2.1.d Cuarta fase. Molienda

El almidón seco, se mollió en dos tipos de molinos, para detectar daños mecánicos en la estructura del gránulo, evaluando dicho daño al construir las curvas de viscosidad contra temperatura desarrollada por pastas de almidón al 5%.

Variable independiente	Nivel de variación	Equipo
Tipo de molienda	2	molino de cuchillas molino de bolas

No. de repeticiones: 2

Total de eventos: 4

9.3 Tercera etapa. Evaluación del almidón de papa obtenido

La evaluación del almidón obtenido, se realizó determinándole su composición aproximada, empleando para esto técnicas oficiales del A.D.A.C.I. Se determinaron las curvas de viscosidad en suspensiones de almidón al 5 %, midiéndose la viscosidad obtenida con un aumento gradual de temperatura, empleando para tal efecto un viscosímetro Brookfield LVT.

10. RESULTADOS

De acuerdo con el diseño experimental planteado en la metodología, a continuación se presentan los datos obtenidos y el análisis de resultados correspondientes para las etapas estudiadas.

10.1 primera etapa: Selección de un método para la determinación de almidón de papa.

De los métodos que se evaluaron, se encontró que en general todos los métodos de determinación de almidón son largos, pues se requiere de una hidrólisis previa de la muestra y de la construcción de una curva estándar.

El método iodométrico, tiene la principal desventaja de que no es sensible para detectar pequeñas cantidades de almidón contenidas en una muestra, la reacción que se lleva a cabo no es estequiométrica por lo que no es de utilidad para las finalidades del presente trabajo.

Este método, se emplea principalmente como un medio cualitativo, para detectar en una forma rápida posibles adulteraciones y/o contaminación en los alimentos, debido a la coloración azul intenso que se produce.

El método polarimétrico, requiere de una gran precisión para poder hacer una determinación adecuada. Además de que no detecta cantidades de almidón pequeñas en las muestras, esta sujeto a graves errores de apreciación, que alteran de una manera muy significativa los resultados, esto se debe a la forma de realizar la lectura en el aparato.

A pesar de que el método espectrofotométrico es un tanto largo, ofrece mayores ventajas sobre los anteriores, ya que se pueden detectar concentraciones bajas de almidón en las muestras, es fácilmente repetible, se emplean reactivos de laboratorio comunes y un espectrofotómetro que es de fácil manejo y lectura directa, por lo que se reducen los errores de apreciación. Ver la técnica de determinación de el apéndice 2.

Método espectrofotométrico

El método empleado para la determinación de almidón involucra las siguientes etapas:

- I. Hidrólisis y neutralización de la muestra.
- II. Clarificación de la muestra.
- III. Filtración.
- IV. Adición del reactivo de Nelson.
- V. Lectura de la muestra en el espectrofotómetro.

(Preparación previa de la curva estándar)
Ver técnica en el apéndice 2.

Con el procedimiento anterior se obtuvieron los siguientes valores, para la construcción de la curva que se muestra en la Fig 21.

Absorbancia a 520 nm para una solución de almidón hidrolizada a diferentes concentraciones.

Concentración (micro gramos/ml)	Absorbancia a 520 nm
25	0.19
50	0.33
75	0.49
100	0.61
125	0.73

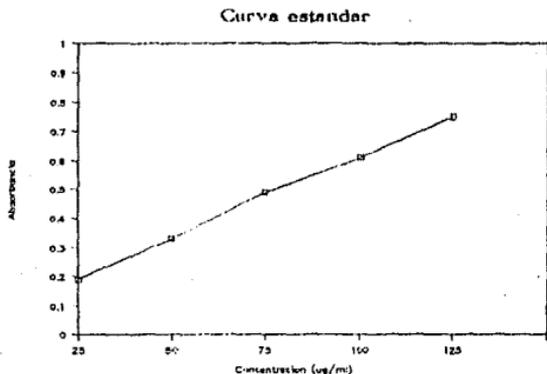


Fig 21. Curva estándar

La curva anterior tiene la ecuación de una línea recta de la siguiente forma:

$$y = mx + b$$

En donde:

$$\begin{aligned} m &= 0.0054 \\ b &= 0.061 \\ \text{correlación} &= 0.996 \end{aligned}$$

Quedando la ecuación:

$$y = 0.0054 x + 0.062$$

Siendo:

y = absorbancia a 520 nm

x = concentración de la dispersión de almidón

Con esta ecuación se obtiene la concentración de almidón fácilmente, tomando directamente la lectura en el espectrofotómetro.

10.2 Segunda etapa: Obtención del almidón de papa

10.2.1 Extracción

Se procedió a realizar la experimentación tal como se planteó en el diseño, manejando las siguientes variables:

- Agitación
- Tiempo de lixiviación
- Tamaño de la criba
- Sistema de lixiviación

Se utilizaron tres cribas con diferentes aberturas durante la desintegración de la papa, en el molino de tornillo, obteniéndose para la abertura de 6 mm. un diámetro de partícula promedio (en una base de 100 mediciones) de 2.4 mm; para la abertura de 3 mm un diámetro de 1.7 mm y para la de 1.5 mm, 0.6 mm.

10.2.1 a Resultados obtenidos durante extracción empleando tamaño de criba de 3 y 6 mm

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante la extracción de almidón con cribas de 6mm y 3 mm en procesos con/sin agitación evaluando los rendimientos a los 20, 40 y 60 minutos.

Tabla 10. Resultados obtenidos durante la extracción (1a. fase)

		Tamaño de Criba				
		6 mm				
		Con agitación		Sin agitación		
	20 min	40 min	60 min	20 min	40 min	60 min
	33.61	39.83	42.78	9.35	15.84	15.93
	35.13	43.51	45.20	11.09	15.42	17.49

Nota: los resultados están expresados como % de rendimiento de la extracción.

	Tamaño de Criba			3 mm		
	Con agitación			Sin agitación		
	20 min	40 min	60 min	20 min	40 min	60 min
	36.23	39.84	43.65	13.26	17.02	18.71
	40.05	42.94	47.87	11.48	18.34	17.49

Nota: Los resultados estan expresados como % de rendimiento de la extracción

En las Fig 22 y 23 , se muestran los resultados en forma gráfica.

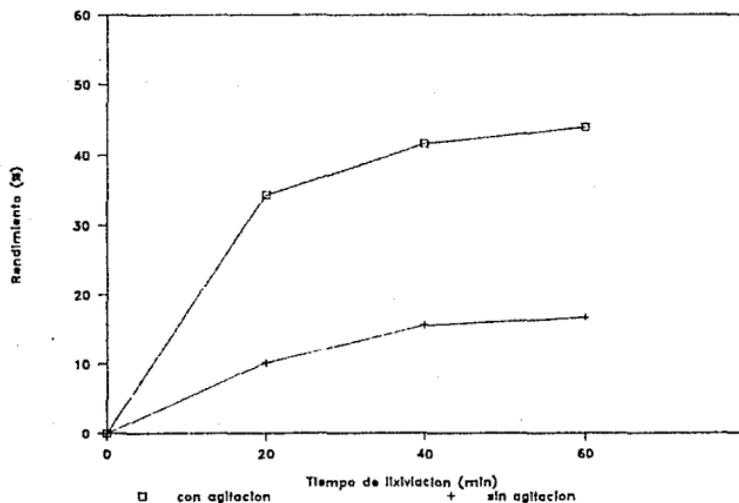


Fig 22. Efecto de la agitación sobre el rendimiento de extracción (criba 3 mm)

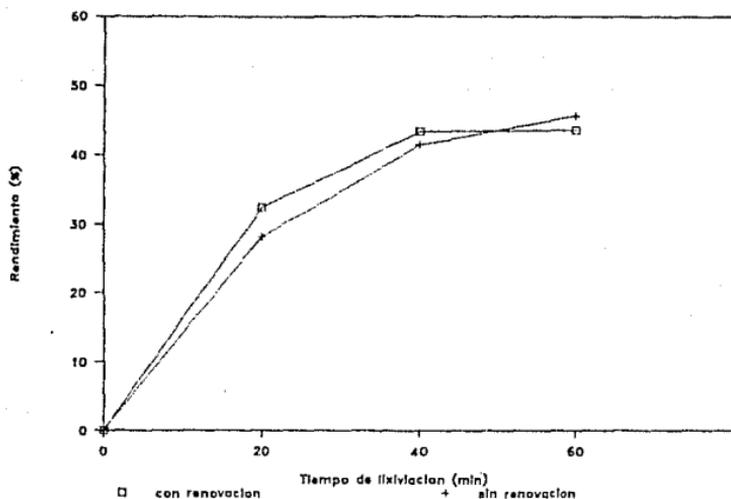


Fig 23. Efecto de la agitación sobre el rendimiento de extracción (criba de 3 mm)

Como se puede apreciar en las Fig 22 y 23, los rendimientos promedio de almidón obtenidos fueron mayores cuando se utilizó la criba de 3 mm en un proceso con agitación respecto al obtenido con la criba de 6mm. En ambos casos se observó que la agitación es un factor importante durante esta operación, puesto que facilita la salida del almidón. Sin embargo, el tiempo de lixiviación no ejerció una influencia tan importante a lo largo del proceso, ya que la mayor cantidad de almidón se extrajo en ambos casos durante los primeros 20 minutos, y después de este tiempo el incremento en el rendimiento es muy pequeño según se observa en las tendencias de las figuras antes mencionadas.

Para analizar los datos obtenidos en esta primera etapa, en la que se planteó un diseño factorial de $2 \times 2 \times 3$ se empleó un método de Análisis de varianzas, porque este método nos permite determinar la influencia de cada una de las variables independientes sobre la variable de respuesta que es el rendimiento así como la interacción de las mismas para determinar finalmente si existe o no diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cada uno de los tratamientos.

A continuación se muestra el arreglo de los datos para efectuar dicho análisis. (Ver apéndice 3)

		Tamaño de partícula (C)					
		3 mm			6 mm		
(B) 20 min		40 min	60 min	20 min	40 min	60 min	
con	33.61	39.83	42.78	35.23	39.84	43.65	
agit.	35.13	43.51	45.20	40.05	42.94	47.87	
(A)							
	1129.63	1586.43	1830.13	1312.61	1587.23	1905.32	
	1234.12	1893.12	1043.04	1604.00	1843.84	2291.54	
SCT	2363.75	3479.55	3873.17	2916.62	3431.07	4196.86	
TOTAL (SCT)			9716.47			10544.84	
sin	9.35	15.84	15.93	13.26	17.02	18.71	
agit	11.09	15.42	17.49	11.48	18.34	17.49	
(A)							
	87.42	250.91	253.76	175.83	289.68	350.06	
	122.99	237.78	305.90	131.79	336.36	305.90	
SCT	210.41	488.68	559.66	307.62	626.04	655.96	
TOTAL (SCT)			1256.76			1589.62	

		Tamaño de Partícula (C)			
		(3 mm)			Total
(B) 20 min		40 min	60 min		
c/agitación	68.74	83.34	87.98	240.06	
(A)					
s/agitación	20.44	31.26	33.42	85.12	
TOTALES	89.18	114.60	121.40	325.18	
	4725.19	6945.56	7740.48		
	417.79	977.19	1116.90		
	5142.98	7922.74	8857.38	21923.10	

		Tamaño de Partícula (C)			
		(6 mm)			Total
(B) 20 min		40 min	60 min		
c/agitación	76.78	82.78	91.52	250.58	
(A)					
s/agitación	24.74	35.56	35.20	96.30	
TOTALES	101.02	118.14	127.72	346.88	
	5818.64	5852.53	6375.91		
	612.07	1250.33	1310.44		
	6430.71	6102.86	7686.35	24219.91	

Totales para los tamaños de partícula
Interacción (A)(B)

	(B) 20 min	40 min	60 min	Total	SCA
c/agitación (A)	145.02	166.12	179.50	490.64	240727.61
s/agitación	45.18	66.62	69.62	181.42	32913.22
TOTALES	190.20	232.74	249.12	672.06	273640.83
			SCG	18819.36	22803.40
SCB	36176.04	54167.91	62060.77	152404.72	19050.59
SCAB	21030.80	27595.85	32220.25		
	2041.23	4438.22	4846.94		
TOTALES	23073.03	32034.08	37067.19	23043.33	

Interacción (A)(C)

	Tamaño de partícula		Total
	(C) 3mm	6 mm	
c/agitación (A)	240.06	250.58	490.64
s/agitación	85.12	96.30	181.42
TOTALES	325.18	346.88	672.06
SCC	105742.03	120325.73	226067.77 18838.98
SCAC	57628.80	62790.34	
	7245.41	9273.69	
TOTALES	64874.23	72064.03	136938.24 22823.04

Interacción (B) (C)

Tiempo lixiviación (B)	Tamaño de partícula		Totales
	(C) 3 mm	6 mm	
20 min	89.18	101.02	190.02
40 min	114.60	118.14	232.74
60 min	121.40	127.72	249.12
TOTALES	325.18	346.88	672.06
SCBC	7953.07	10205.04	
	13133.16	13957.06	
	14737.96	16312.40	
TOTALES	35824.19	40474.50	76298.69 19074.67

Tabla 11. Análisis de Varianza

Fuente de variación	SC	GL	CM	f calc.	f tablas
Agitación (A)	3984.04	1	3984.04	1262.16	4.75
Tiempo lixiviación (B)	231.23	2	115.62	36.63	3.89
Tamaño de partícula (C)	19.62	1	19.62	6.22	4.75
Interacción 2 factores					
(A)(B)	8.69	2	4.35	1.38	3.89
(A)(C)	0.02	1	0.02	0.01	4.75
(B)(C)	4.46	2	2.23	0.71	3.89
Interacción 3 factores					
(A)(B)(C)	4.08	2	2.04	0.65	3.89
Error	37.88	12	3.16		
Total	4290.03	23			

De acuerdo con los datos obtenidos de la tabla anterior se observa que los valores de las f calculadas para las variables: agitación, tiempo de lixiviación y tamaño de partícula fueron mayores que las f de tablas, lo cual significa que dichas variables tienen una influencia significativa sobre el rendimiento en la extracción de sílice.

La agitación es la variable independiente que tiene la mayor influencia, seguida del tiempo de lixiviación y tamaño de partícula, bajo las condiciones experimentadas.

Por otra parte, la interacción de 2 y 3 factores no tiene influencia estadísticamente significativa sobre el rendimiento en la extracción del almidón de papa.

Cabe mencionar que los rendimientos de extracción fueron bajos, menores al 50 % ; sin embargo, los mejores resultados obtenidos se lograron con un tamaño de abertura de la criba de 3 mm y agitación, que fueron las condiciones que se seleccionaron para determinar el la viscosidad del medio ejercía influencia sobre el rendimiento, con el objeto de mejorar los mismos, mediante el siguiente experimento.

10.2.1.b Resultados de la extracción con y sin renovación de solvente

Considerando que durante la desintegración se liberan otras sustancias como proteínas, hemicelulosas, celulosas, pigmentos, etc. que aumentan la viscosidad del medio y podrían ofrecer una resistencia a la salida del almidón, se experimentó con dos sistemas diferentes de lixiviación, uno sin renovar el solvente y por tanto con mayor viscosidad y otro renovando el solvente cada 20 minutos con menor viscosidad, con el objeto de mejorar los rendimientos obtenidos de la experimentación anterior.

Tabla 12. Resultados obtenidos durante la extracción con y sin renovación de solvente

	Tamaño de partícula 3mm					
	Con renovación del solvente			Sin renovación del solvente		
	20min	40min	60min	20min	40min	60min
	31.26	40.57	42.90	27.62	43.28	44.26
	33.64	46.11	44.40	28.66	39.50	47.12

Nota:

Los resultados están expresados como % del rendimiento de la extracción.

El análisis de los resultados de este factorial de 2x3 se realizó mediante un análisis de varianza, obteniendo la siguiente tabla.

Tabla 13. Análisis de varianza para la extracción con y sin renovación de solvente.

Fuente de variación	SC	GL	CM	f calc	f tablas
Renovación solvente	5.93	1	5.93	1.14	5.99
Tiempo lixiviación	476.85	2	238.42	46.03	5.14
Interacción	20.60	2	10.30	1.98	5.14
Error	31.07	6	5.17		
Total	534.46	11	259.84		

De acuerdo con los datos obtenidos, la renovación del solvente no tiene efecto significativo en el rendimiento de la extracción del almidón puesto que la f calculada es menor a la f de tablas. Sin embargo, el tiempo de lixiviación sí tiene influencia sobre el rendimiento, como se había observado en el análisis anterior.

Esto significa que la viscosidad del medio no ejerce influencia sobre los rendimientos en la extracción, puesto que los compuestos liberados durante la desintegración de la papa, no incrementan considerablemente la viscosidad, que fue de 3.4 cp comparada con la viscosidad del agua que es de 1 cp a 25 °C.

La renovación del solvente durante la extracción en un proceso industrial únicamente significaría un aumento considerable en el consumo de agua, ya que este no repercute significativamente en el rendimiento.

Al analizar el experimento anterior y observar que los rendimientos son muy bajos aún, se probó otro tamaño de criba durante la desintegración, con la finalidad de encontrar un tamaño de partícula crítica que pudiera liberar con mayor facilidad el almidón.

10.2.1.c Resultados obtenidos empleando un tamaño de partícula de 1.5 mm

Se planteó un diseño experimental adicional a la metodología inicialmente propuesta, considerando únicamente las variables que tuvieron mayor influencia según los análisis anteriores, es decir, una extracción sin renovación del solvente, con agitación y con un tamaño de criba más pequeño (1.5 mm). Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14. Rendimiento de almidón para un tamaño de criba de 1.5 mm

	Tiempo de lixiviación		
	20 min	40 min	60 min
	88.52	89.76	90.48
	90.32	92.02	91.90

Nota: los resultados están expresados como % de rendimiento de la extracción.

Se realizó un análisis de varianza para determinar si hay diferencia significativa entre las medias de los rendimientos a diferentes tiempos, obteniendo la siguiente tabla.

Tabla 15. Análisis de varianza para un tamaño de partícula de 1.5 mm

Fuente de variación	SC	GL	CM	f calc	f tabla
Tiempo de lixiviación	3.59	2	1.79	1.04	4.50
Error	5.16	3	1.73		
Total	8.77	5			

De acuerdo con los datos anteriores, el tiempo de lixiviación no tiene efecto significativo en el rendimiento para este tamaño de criba y a partir de los datos se observa que los rendimientos son mucho mayores a los obtenidos en experimentos anteriores, ya que se alcanza un 89.42 % en promedio durante los primeros 20 minutos.

En la fig 24, se muestra el rendimiento promedio de almidón durante la lixiviación con agitación a diferentes tamaños de partícula, en esta se observa que el rendimiento obtenido para un tamaño de criba de 1.5 mm fué tres veces mayor que para los otros tamaños desde los primeros 20 minutos de esta operación.

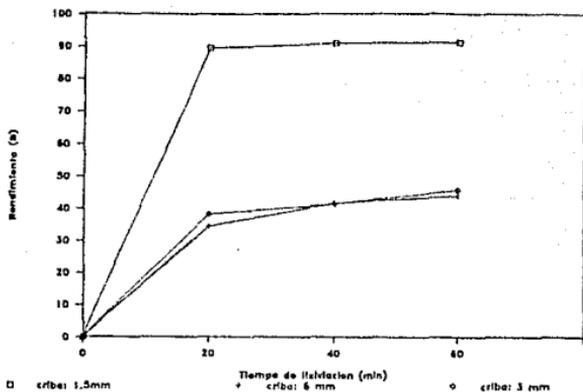


Fig 24. Rendimiento de almidón durante la lixiviación para las diferentes aberturas de criba.

En el proceso de extracción de almidón de papa, es determinante el tamaño de partícula que se alcanza durante la desintegración, ya que la salida del almidón está restringida por barreras físicas como las paredes celulares, y mientras éstas no se desgarran no se liberará el almidón, aunque el proceso se lleve a cabo con agitación continua y los tiempos de extracción sean muy prolongados.

10.2.2 Evaluación del tiempo de sedimentación.

La sedimentación de la suspensión de almidón se efectuó en un vaso de precipitados de 1 000 ml evaluando la concentración de almidón según se explicó en el diseño experimental:

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tiempo de sedimentación	inicial	20min	40min	60min
% de almidón en la lechada	11.26	1.98	0.99	0.76
% de almidón sedimentado	0.00	82.40	91.20	93.20

Como se puede apreciar el 82.40 % del almidón se sedimenta durante los primeros 20 minutos y el 91.20 % a los 40 minutos, habiendo un incremento muy bajo a los 60 minutos que equivale a un 2.19 %. Por esta razón no se recomienda prolongar la sedimentación más allá de los 40 minutos, bajo estas condiciones, como se aprecia en la figura 25.

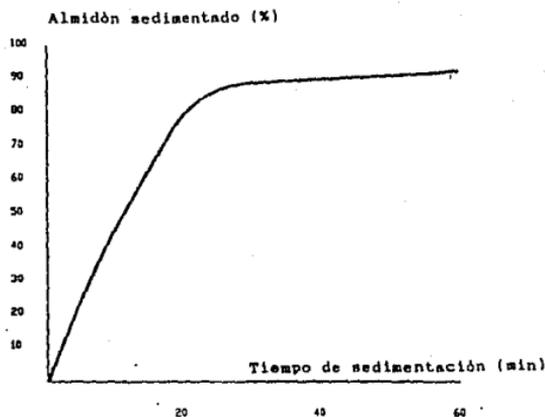


Fig 25. Porcentaje de almidón sedimentado

Se determinó la velocidad de sedimentación experimental, midiendo la altura H_1 que corresponde a la distancia desde el fondo del recipiente hasta la superficie del líquido. Se midió la altura que alcanzó la pasta de almidón al final de la sedimentación y se obtuvo un promedio de esta última H_p . Considerando que la distancia que debe recorrer una partícula para sedimentarse es desde la superficie del líquido hasta esta altura promedio. Esto se muestra en la Fig 26.

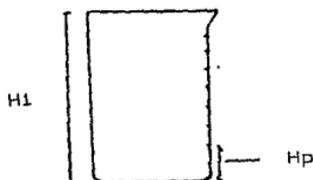


Fig 26. Localización de las alturas para la determinación de la velocidad de sedimentación experimental.

$$\text{Velocidad de sedimentación} = \frac{(H_1 - H_p)}{40} = 0.255 \text{ cm/min}$$

El tiempo de sedimentación se considera de 40 minutos porque este es el tiempo en el que se deposita la mayor cantidad de partículas, 91.2%. Se efectuó el cálculo de la velocidad de sedimentación teórica mediante la ley de Stokes.

$$V_t = \frac{g D_p^2 (d_p - d)}{18 u}$$

$$V_t = 0.05247 \text{ cm/seg}$$

$$= 3.148 \text{ cm/min}$$

Donde:

- g = gravedad = 981 cm/seg
- D_p = diámetro de partícula = 75×10^{-4} cm
- d_p = densidad de la partícula hidratada = 1.16935 g/cm³
- d = densidad del medio = 0.9982 g/cm³
- u = viscosidad del medio = 0.01 poise

Comparando la velocidad de sedimentación obtenida experimentalmente, con la calculada mediante la ley de Stokes, podemos observar que esta última es mayor que la experimental como se esperaba.

Esto se atribuye a que la Ley de Stokes es para un sistema ideal en el que se supone que no existen interacciones entre la partícula que se sedimenta con otras partículas presentes en el medio, ni con las paredes del recipiente que contiene la suspensión, y en un sistema real estas interacciones existen.

Hay propiedades en el sistema, que para efecto de cálculo se consideran constantes, como la densidad de la partícula y la viscosidad del medio, pero sin embargo, sufren cambios durante esta operación.

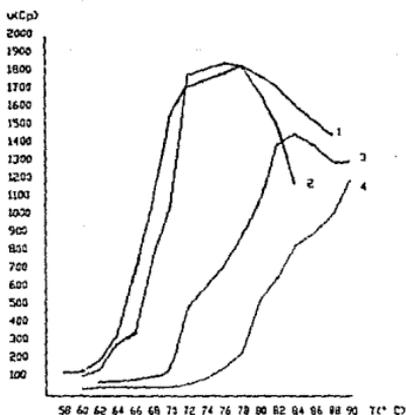
La ecuación de Stokes supone que las partículas que se depositan son sólidas y de forma esférica, en la realidad para el caso de los granulos de almidón de papa, la forma es oval y el tamaño puede variar desde 50 hasta 100 micras. Además, dada su estructura, no podemos considerarlas simplemente como esferas sólidas, ya que en el granulo, aun a temperaturas menores que la de gelatinización, el granulo absorbe agua en forma reversible y al ocurrir esto, aumentan su tamaño, por lo que la densidad también se ve modificada.

su tamaño, por lo que la densidad también se ve modificada. Por otra parte, la viscosidad del medio tiende a reducirse a medida que se deposita el almidón y estrictamente hablando no podríamos considerarla como una constante.

En este caso, la viscosidad del medio es muy similar a la del agua, y un cambio en ésta no representaría un factor de variación importante, sin embargo, la diferencia de densidad del almidón debida al hinchamiento y solvatación del gránulo sí lo es.

10.2.3 Secado de la pasta de almidón

El efecto de la temperatura de secado en la pasta de almidón, se analizó mediante curvas de viscosidad, que se muestran en la Fig 27.



- 1) Secado a 55 °C 3) Secado a 75 °C
 2) Secado a 65 °C 4) Secado a 85 °C

Fig 27. Curvas de viscosidad contra temperatura para las pastas de almidón secadas a diferentes condiciones.

El almidón secado a temperaturas de 55 y 65 °C, presentan curvas típicas de viscosidad para almidones naturales, puesto que estas muestran un desarrollo de la viscosidad tal que el rango de temperaturas de gelatinización se encuentran muy cercanas al rango reportado teóricamente, mismo que se encuentra entre los 60-65 °C. (29)

El comportamiento que exhiben estas curvas, son indicio de que la integridad del gránulo no fue afectada durante el secado, ya que el hinchamiento del mismo esta directamente relacionado con una propiedad medible como es la viscosidad.

En estas curvas se aprecia un hinchamiento paulatino y uniforme del gránulo debido a la absorción de la humedad del medio hasta un punto que corresponde a la viscosidad máxima, que fue de 1850 cp para la temperatura de secado de 65 oC. En este punto el gránulo de almidón es débil, por lo que, al continuar con el calentamiento y agitación, se propicia la ruptura de enlaces, que disminuyen la capacidad de retención de agua, así como la viscosidad.

Sin embargo, cuando el secado se lleva a cabo a temperaturas mas elevadas, de 75 y 85 oC, las curvas de viscosidad ya no son típicas; la dispersión de almidón comienza a incrementar su viscosidad a temperaturas mayores y no se ve un rango de gelatinización bien definido. La forma que toma la curva es diferente, el desarrollo de la viscosidad no se da paulatina y uniformemente.

Esto puede explicarse en función de que el secado no fue homogéneo y se propició una gelatinización parcial o un daño térmico a la muestra, observándose en el área que estaba en contacto con la superficie de la charola. De este almidón secado, molido y homogeneizado, se preparo la dispersión de almidón y se construyó la curva de viscosidad.

Por otra parte, la tendencia de la curva de viscosidad que muestra el almidón secado a 85 oC es claramente ascendente, pero la dispersión de almidón no se pudo calentar a temperaturas mayores a 92 oC, siendo en este punto una viscosidad de 1 200 cp, sin poder definir el valor máximo de esta.

El comportamiento de la curva esperado para un almidón gelatinizado, era que se alcanzarán viscosidades mayores al de un almidón natural, porque al haber una gelatinización, los grupos radicales quedan más expuestos, y hay mayor posibilidad de formar enlaces con el agua, lo cual repercute en un aumento de la viscosidad.

Adicionalmente, se construyeron curvas de secado con la finalidad de observar las características del secado de la pasta de almidón, como el mecanismo de difusión de la humedad y apariencia general del producto durante el proceso.

Las curvas se construyeron registrando la pérdida de peso a lo largo del proceso de secado a intervalos de 5 minutos.

La tendencia de las curvas de secado obtenidas para las temperaturas de 55 y 65 oC que son en las que no se observó daño, se muestran en la Fig 28.

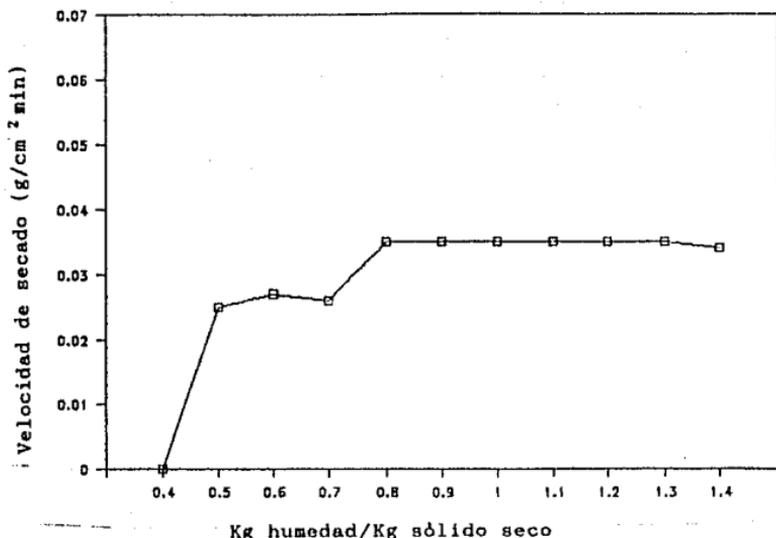


Fig 28. Curvas de velocidad de secado experimentales. Temperatura de 65 oC

Como se puede apreciar en la Fig 28, durante el secado de la pasta de almidón el período de velocidad constante se prolonga notablemente y abarca casi todo el proceso. Comparando esta curva experimental con la curva típica mostrada en la Fig 18, podemos observar que no se presentan los dos períodos de velocidad decreciente característicos, sin embargo, la tendencia que muestra esta curva corresponde a la que presenta el secado de un sólido poroso.

El período de velocidad constante durante el secado, se prolonga cuando no existen barreras/resistencias, que impiden la salida de la humedad.

En los sólidos porosos, los poros no representan una barrera a la salida de la humedad dado que las fuerzas de capilaridad son pequeñas. Es común que se presente este tipo de curva cuando la fuente de calor proviene de la parte inferior, en este caso se facilita aún más la salida de la humedad hacia la superficie de evaporación. El período de velocidad constante continúa hasta que el sólido alcanza la humedad crítica, que se presenta en el punto de inflexión de la curva, en algunos casos es muy sutil y difícil de detectar, como en la curva de la Fig 28.

El secado de la pasta de almidón se puede comparar con el secado de un lecho de arena, ya que los gránulos de almidón son sólidos incapaces de retener agua (mientras no

se alcance la temperatura de gelatinización), siendo la humedad contenida en la pasta, humedad libre que es fácil de eliminar.

El secado se puede llevar a cabo a través de tres mecanismos de transferencia de calor: por conducción, convección o radiación.

En el caso del secado de almidón de papa, consideramos que el proceso de transferencia de calor predominante es por conducción, la fuente de calor es por la parte inferior y el aluminio de la charola se calienta rápidamente, siendo esta la superficie que está en contacto con el sólido, no hay circulación de aire, ya que se efectuó en una estufa de laboratorio, por esta razón los datos obtenidos son válidos para este equipo y bajo las condiciones experimentadas.

10.2.4 Molienda

Las curvas de viscosidad contra temperatura obtenidas para el almidón molido empleando fuerza de impacto y de corte se muestran en la fig 29.

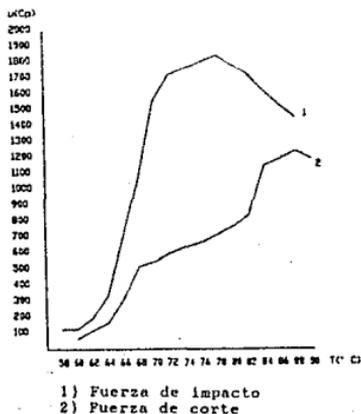


Fig.29 Curvas de viscosidad contra temperatura para pastas de almidón empleando fuerza de impacto y fuerza de corte

Como se puede observar en la curva la viscosidad de la pasta desarrollada por el almidón molido mediante la fuerza de impacto (Molino de bolas), exhibe el comportamiento típico de los almidones naturales alcanzando una viscosidad de 1850 cp en un rango de temperaturas de 75-80 oC.

En el caso del almidón molido empleando un molino de cuchillas (Fuerza de corte), la viscosidad máxima alcanzada para el mismo rango de temperaturas fué de 750 cp, que representa menos del 50 % de la viscosidad alcanzada cuando se usó el molino de bolas.

Con estos resultados se confirma la importancia de mantener la integridad del gránulo durante la molienda para no afectar la capacidad de absorción de agua y con esto la viscosidad que pueda desarrollar en pastas, que será de primordial importancia en su aplicación.

10.3 Evaluación del almidón de papa obtenido

El almidón obtenido se evaluó contra uno comercial, realizando una caracterización y un análisis bromatológico general, empleando para ello las técnicas oficiales del A.O.A.C.

Propiedad	Obtenido	Comercial
Descripción	polvo fino color blanco	polvo fino color blanco
Densidad g/cm ³	0.8995	0.97
Granulometría pasa malla 200	80 %	80 %
Proteína	trazas	trazas
Humedad	10.6 %	12.15 %
Grasas	trazas	trazas
Cenizas	0.3 %	0.3 %
Almidón	89.1 %	87.55 %

Como se puede apreciar el almidón obtenido en el laboratorio con la metodología propuesta es comparable con un almidón comercial, pues el análisis proximal, muestra datos muy similares el porcentaje de las cenizas (% en base seca) es ligeramente; esto se debe a que en el proceso de extracción empleado se eliminaron los lavados excesivos durante la obtención del almidón y el agua empleada no tiene tratamiento de deionización, como se recomienda para almidones de alta pureza para uso farmacéutico.

Sin embargo, las características y propiedades de las pastas de almidón obtenido con este método, son satisfactorias puesto que son comparables con los datos reportados en la bibliografía, así como los que muestra el almidón comercial con el que se comparó.

El almidón obtenido en el laboratorio se sometió a una prueba de higroscopicidad, dejándolo expuesto al medio ambiente y atribuyendo el aumento de peso a la absorción de humedad, los resultados obtenidos son:

Peso (g)	Tiempo (días)
36.81	inicial
36.98	1
36.99	5
37.00	10

La prueba solo se llevó durante 10 días y el aumento de peso que se registró fue insignificante, 0.52 %, por la que se considera que es un polvo no higroscópico y que por lo mismo no requiere condiciones especiales de almacenamiento con humedades y temperaturas controladas.

Se construyeron curvas de viscosidad contra temperaturas a diferentes pH para observar el comportamiento del producto bajo las condiciones a las que podría someterse en su posterior uso. Esto se muestra en la Fig 30 y 31.

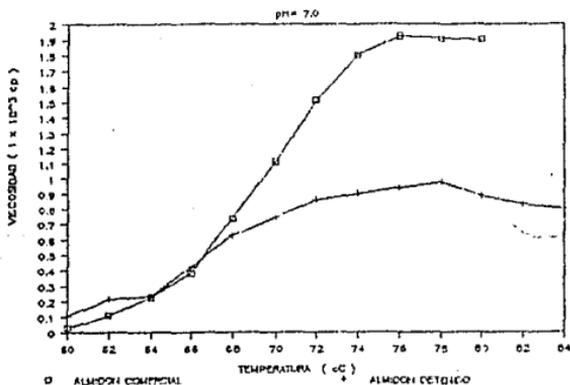


Fig 30. Curvas de viscosidad contra temperatura a pH 7 de un almidón comercial y el obtenido

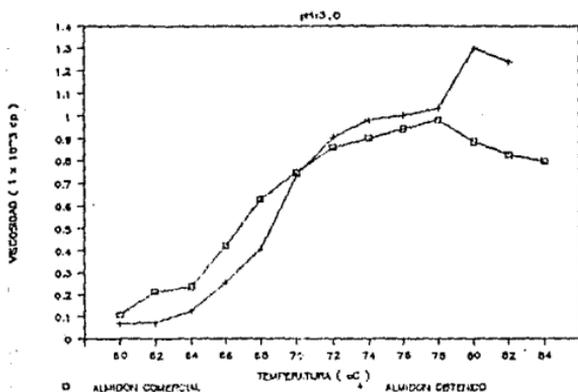


Fig 32. Curva de viscosidad contra temperatura a pH 3 para un almidón comercial y el obtenido

Como se puede observar en las figuras anteriores las viscosidades desarrolladas por la pasta de almidón obtenido en el laboratorio son similares a las de un almidón comercial para estos pH que es el rango de aplicación del almidón de papa.

11.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de este trabajo experimental, se constató que es posible obtener almidón natural de la papa, con una calidad similar al de un almidón comercial, a partir de producto que esta fuera de clasificación. Por lo que la producción de almidón constituye una buena alternativa para el aprovechamiento de este producto hortofrutícola.

Aunque el proceso de obtención es sencillo, es muy importante controlar las condiciones en las operaciones críticas, puesto que de esto dependen los rendimientos y la calidad del producto final.

Las condiciones óptimas encontradas en el presente estudio, para las operaciones estudiadas fueron:

Desintegración.

Durante esta operación, se deben emplear cribas con una abertura no mayor de 1.5 mm, pues el rendimiento durante la extracción, es función principal del tamaño de partícula.

Extracción.

Se encontró que la extracción del almidón es un proceso de elución, en donde es importante controlar el tamaño de partícula (1.5 mm), con agitación continua (415 rpm), ya que estos factores favorecen la salida del almidón, incrementando el rendimiento en la operación.

Sedimentación.

Es una operación que no representa problema, pues un 82 % aproximadamente, se sedimenta durante los primeros 20 minutos, depositándose en forma de una pasta compacta, que tiene una humedad de 60 % aproximadamente.

Secado.

El secado es una operación muy importante, pues es la que con mayor facilidad puede propiciar un cambio en la estructura del almidón, debido a una gelatinización en presencia de agua o bien daño térmico.

En este caso se encontró, que el rango de temperaturas más adecuado para secar la pasta de almidón sin que sufra modificaciones, se encuentra entre los 55 y 65°C.

El secado de la pasta de almidón presenta un comportamiento similar al secado de lechos de sólidos porosos, presentando una muy baja resistencia a la salida de la humedad.

El secado solar constituye una buena alternativa para el secado de la pasta de almidón, ya que es un equipo sencillo, en el que se alcanzan fácilmente las temperaturas necesarias y que además representa un ahorro importante de energía.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Molienda:

Finalmente esta operación debe hacerse empleando molinos de bolas, pues la fuerza de corte (M. de cuchillas) dana definitivamente el gránulo y las viscosidades que desarrollan las pastas de almidón son menores.

RECOMENDACIONES

Es importante mencionar que el presente trabajo se desarrolló en el laboratorio (in vitro), y que para poder desarrollar este proyecto a nivel industrial, es muy importante escalar primero a nivel planta piloto, empleando los equipos y las condiciones que se pretendan emplear a nivel industrial.

Se encontró que una de las operaciones más importantes es la extracción o elución del almidón y dado que en este trabajo solamente se emplearon tres diferentes tamaños de partícula y se evaluó en intervalos de 20 minutos, sería interesante reducir el tamaño de partícula hasta encontrar el límite inferior es decir aquel en el que se obtiene el mayor rendimiento de la operación, pero sin dañar la estructura del gránulo. Además el tamaño de partícula empleado en la extracción afecta directamente la operación de purificación en el que hay una separación de las fibras, si éstas son muy finas es más difícil separarlas y la pureza puede disminuir. Por lo que encontrar el tamaño de partícula ideal está en función principalmente de estas tres variables.

En cuanto al tiempo de extracción, se podría reducir el intervalo de 20 min. en el que se tomó la muestra para seguir el curso de la extracción, pues probablemente con un tamaño de partícula más reducido, el tiempo de extracción sea menor a los 20 minutos.

Se recomienda emplear otros equipos diferentes de los que se utilizaron en laboratorio, para optimizar el proceso, como por ejemplo un secador solar, pues podría ser una opción viable de acuerdo a las características que presenta el la pasta de almidón, además de ser un equipo sencillo y económico.

El uso de los desechos de las plantas procesadoras de harinas y almidones de papa sería interesante, pues los sólidos agotados así como el agua de los efluentes, tienen todavía nutrientes (ver capítulo) que podrían emplearse con diversos propósitos: alimentación animal, como medio de fermentación en la producción de proteína unicelular etc.

B I B L I O G R A F I A

1. Badui Dergal Salvador, QUIMICA DE LOS ALIMENTOS
Ed. Alahambra, México, 1982.
2. Berk Z. BIOQUIMICA DE LOS ALIMENTOS
Ed. El Manual Moderno, México, 1980.
3. Brautleeh Charles, STARCH ITS SOURCES, PRODUCTION
AND USES, Ed. Reinhold Publishing, New, York.
4. ECONOTECNIA AGRICOLA, Volumen VII
No.3, Marzo, México, 1980.
5. Ellinger R.H. PHOSPHATES AS FOOD INGREDIENT
Ed. C.R.C. Press.
6. Fennema O.R. INTRODUCCION A LA CIENCIA DE LOS
ALIMENTOS, Ed. Reverté, España, 1982.
7. Furia E.T. HANDBOOK OF FOOD ADITIVES
Ed. CRC Press, Vol. 1, USA, 1983.
8. Geankoplis, Christie, PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS
Ed. CECSA, México, 1984.
9. Glicksman M. GUM TECHNOLOGY AND THE FOOD INDUSTRY
Ed. Academic Press, New York.
10. Glicksman M. FOOD HYDROCOLOIDS
Vol.1, CRC Press. USA. 1928.
11. Gutterson Melton, FOOD PROCESING REVIEW
No.19, USA, 1975.
12. Herrera Ceballos Eva, CONTRIBUCION AL ESTUDIO PARA
EL SECADO DE PAPA, tesis, Facultad de Química, UNAM
México, 1975.
13. Kerr R.W. CHEMISTRY AND INDUSTRY OF STARCH
Ed. Academic Press, New York, 1950.
14. Kirk Oth mer. ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY
Vol.21, Ed. Wiley Interscience, USA, 1983.
15. Kreyszig E. INTRODUCCION A LA ESTADISTICA MATEMATICA
Ed. Limusa, México, 1982.
16. Langdon Thomas, PREVENTING OF BROWNING IN FRECH PREPARED
POTATOES WITHOUT THE USE OF SULFATING AGENTS, Food Tech
nology 41 (5), 1987.

17. Luallen Thomas, STARCH AS A FUNCTIONAL INGREDIENT
Food Technology, January, USA, 1975.
18. Mc.Cabe & Smith, UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING
Ed. Mc. Graw-Hill, USA, 1981.
19. Mishkin Saguy & Karel, DYNAMIC OPTIMIZATION OF DEHYDRATION
PROCESSES MINIMIZING BROWNING IN DEHYDRATION OF POTATOES,
Journal of Food Science, Vol.48, 1983.
20. Murray R.Spiegel, PROBABILIDAD Y ESTADISTICA
Ed. Schaum.Mc. Graw Hill, USA, 1981.
21. Nueva Enciclopedia Temática
tomo V, Ed. Richards S.A., México, 1969.
22. Osman Elizabeth M. INTERACTION OF STARCH WITH OTHER
COMPONENTS OF FOOD SYSTEMS, Food technology, Vol.29
1975.
23. Osman Elizabeth & Maura Bean, BEHAVIOR OF STARCH DURING
FOOD PREPARATION II, EFFECTS OF DIFFERENT SUGARS ON
THE VISCOSITY AND GEL STRENGTH OF STARCH PASTES, Food
Research, Vol 24, No.6, 1959.
24. PAPA, Foileto Informativo sobre Normas de Calidad
serie 3, Sria. de Comercio, México, 1982.
25. Pantoja Magana, PROYECTO PARA UN LAVADOR HIDRAULICO
Y EXTRACTOR DE SOLIDOS DEL AGUA DE LAVADO DE HOJUELAS
DE PAPA, tesis. Instituto Politécnico Nacional, 1978.
26. Pearson, ANALISIS QUIMICO DE LOS ALIMENTOS
Compañía Editorial Continental, México, 1987.
27. Perry & Chilton, MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO
Mc. Graw Hill, 5a ed. New York, USA 1979.
28. Petersen, EDIBLE STARCHES & STARCH-DERIVED SYRUPS
Food Technology. Review no.24. USA, 1975.
29. POTATO STARCH, Product Information
AVEBE Veendam, Holland, 1983.
30. Potter, LA CIENCIA DE LOS ALIMENTOS
AVI Publishing Co, USA, 1970.
31. Pravison C. et al, KINETIC OF STARCH GELATINIZATION
IN POTATO, Journal of Food Science, vol 50, 1985.
32. Prescott & Proctor, FOOD TECHNOLOGY
Ed. Mc. Graw- Hill. USA. 1937.
33. Preuss Eugen, COMPREHENSIVE SURVEY OF STARCH CHEMISTRY
N. York, USA, 1928

34. Ramirez Escoto Dolores, ORIGEN DE LA PIERNA NEGRA EN LA PAPA, tesis, UNAM, México, 1982.
35. Rhoades E. Robert, THE INCREDIBLE POTATO National Geographic, Vol.161, No.5, USA. 1982.
36. Rockstrom Erik, NEW SWEDISH DEHYDRATION SYSTEM, SAVES COST, TIME & SPACE, Food Engineering, vol 59, No.10 1987.
37. Schaw B. FISICOQUIMICA DE SUPERFICIES Y SISTEMAS DISPERSOS Ed. Alahambra, Madrid, España, 1983
38. Scott L. and Kattan, VARIETAL DIFFERENCES IN THE CATECOL OXIDASE CONTENT OF THE SWEET POTATO ROOT, J.Amer.Soc. Hort. Sci., 69, 436, 1957.
39. Solomons T.W.G., QUIMICA ORGANICA Ed. Limusa, México, 1979.
40. Srfa. de Comercio y Fomento Industrial, D.G.N. Vol.1, No.3, México, 1987.
41. Strolle Aceto et al, RECOVERING USEFUL BYPRODUCTS FROM POTATO STARCH FACTORY WASTE EFFLUENTS, Food Technology February, 1980.
42. Sullivan Kozempal et al. LOSS OF AMINOACIDS AND WATER SOLUBLE VITAMINS DURING POTATO PROCESSING, Journal of Food Science, Vol.50 (1985).
43. Talburt F. William, POTAO PROCESSING AVI Publishing Co. USA, 1967.
44. Treybal Robert, OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA Ed. Mc. Graw Hill. México, 1960.
45. Truong Van Den et al, SIMPLE SUGARS OLIGOSACCHARIDES AND STARCH CONCENTRATION IN RAW AND COOK SWEET POTATO Journal of Food Chemistry, Vol 34, 1986.
46. Walter W.M. & Scadell ,EFFECT OF LYE PEELING CONDITIONS IN SWEET POTAO TISSUE, Journal of Food Science, Vol. 47 1982.
47. Walpole and Myers, ESTADISTICA PARA INGENIEROS Ed. Fondo Educativo Interamericano, México, 1983.
48. Walton Robert, A COMPREHENSIVE SURVEY OF STARCH CHEMISTRY The Chemical Catalog, USA, 1928.
49. Whistler & Paschall, STARCH CHEMISTRY AND TECHNOLOGY tomo 11 , Academic Press. USA, 1967.

50. Whistler J. & Bemiller, STARCH CHEMISTRY & TECHNOLOGY
Academic Press. USA, 1984
51. William Walter & Giesbrecht, EFFECT OF LYE PEELING
CONDITION ON PHENOLIC DESTRUCTION STARCH HYDROLYSIS AND
CAROTENE LOSS IN SWEET POTATOES, Journal of Food Science
Vol.47, 1982.
52. Wurzburg O.B. & Szymanski, MODIFIED STARCHES FOR THE
FOOD INDUSTRY, Journal of Agriculture and Food Chemistry
USA.
53. Ziemia John, FOOD STARCHES TYPES, CHARACTERISTICS,
ADVANTAGES, LIMITATIONS, APPLICATIONS, Food Engineering
October, USA, 1985

A P E N D I C E

1. Norma Oficial Mexicana NOM - FF - 22
(Papa blanca, alfa)
2. Método de Determinación de almidón
por espectrofotometría
3. Método de Análisis de varianza

1. Norma Oficial Mexicana NOM - FF - 22
Papa blanca, alfa.

Especificaciones Generales.

Las papas deben estar bien desarrolladas, enteras, sanas, frescas, limpias, con cascara razonablemente lisa, de forma característica de la variedad, sin humedad exterior anormal y libres de descomposicion o pudricion.

A continuacion se muestran algunos de los parametros en funcion de los grados de calidad:

Parametros	Mexico extra	Mexico 1	Mexico 2
color	uniforme segun variedad de que se trate	segun la variedad con ligera variacion	segun la var. con ligera variacion en homogeneidad
tamano	B, C o D	A, B, C, D o E	A, B, C, D o E
defectos	sin defecto	con defecto menor	con defecto mayor
tolerancias en tamano	5 %	10 %	15 %

Descripcion de las caracteristicas

Tamano.

Se determinará en función del diametro ecuatorial.

Denominacion	Diametro ecuatorial (cm)	Mexico extra	Mexico 1	Mexico 2
A extrachico	menor de 4	-	A	A
B chico	4 - 6	B	B	B
C mediano	6 - 8	C	C	C
D grande	8 - 10	D	D	D
E muy grande	mayor de 10	-	E	E

Defectos.

Se clasifican en: mayores, menores y criticos

Se consideran defectos menores, a las raspaduras que afectan ligeramente la apariencia, siempre y cuando no presenten coloraciones oscuras y el producto de color verde claro en forma incipiente y en una area pequena. Estos no deben afectar una area mayor del 5 %.

Los defectos mayores, son aquellos considerados cuando el producto presenta un color verde oscuro en una area pequena, al producto con raspaduras, cortaduras o manchas que afectan moderadamente la apariencia. Estos afectan mas del 5% y menos del 10 % en la superficie total.

Son considerados defectos criticos, cuando se presentan en el producto deformaciones severas, cuando el producto presenta color verde oscuro y las raspaduras que afectan severamente la apariencia, a las heridas no cicatrizadas o cuando se observen cavidades u orificios provocados por gusanos, muchas de las veces los orificios no se perciben por lo que hay que cortar la muestra cuando se sospecha de su presencia. Se consideran estos cuando se afecta una area mayor del 10 % de la superficie total.

Muestreo

El muestreo del producto podra establecerse de comun acuerdo entre el vendedor y el comprador, a falta de este se puede llevar a cabo conforme a las indicaciones de la norma NOM - Z - 12 - 1982.

Se sugiere la siguiente formula para calcular el porcentaje de producto defectuoso en un lote:

$$\% \text{ de defectuosos} = \frac{\text{Cantidad de defectuosos}}{\text{Cantidad inspeccionada}} \times 100$$

Tolerancia de los defectos.

Tolerancia de defectos	punto de embarque	punto de arribo
Mayores	6 %	7 %
Menores	10 %	12 %
Acumulativos	10 %	12 %
Pudricion	0.5 %	1 %

Nota.

En las tolerancias de tamaño y defectos, se da el porcentaje permitido para el lote, y se evalúa el número de unidades o el peso por envase que no corresponda a la designación aclarada.

Presentación

Envasado con rigurosa selección, con aspecto global uniforme, en cuanto a tamaño y color, según las tolerancias para cada grado de calidad.

Envase y Embalaje

Para el envase de la papa, se sugiere utilizar sacos de arpillas, con las siguientes dimensiones en cm:

Largo		Ancho
90	x	50
85	x	50
80	x	45

Con capacidad aproximada de 30 kg de producto.

Los envases deben reunir las condiciones de higiene, ventilación y resistencia a la humedad y temperatura, que garanticen un adecuado manejo y conservación del producto.

El estibado deberá hacerse en tarimas de 1 x 1.20 m, lo que facilitará el manejo del producto, así como, el mejor aprovechamiento del transporte y almacenamiento, marcado y etiquetado.

Cada envase debe llevar en el exterior una etiqueta en el exterior con caracteres legibles e indelebles y redactados en español,

La etiqueta deberá contener como mínimo los siguientes datos:

- Papa en estado fresco
- Identificación simbólica del producto
- Nombre y dirección del producto, distribuidor y exportador y cuando se requiera, del importador.
- Marca o identificación simbólica del productor envasador.
- Zona regional de producción.
- Leyenda. " Producto de Mexico "
- Fecha de envasado.
- Grado de calidad.
- Contenido neto en gramos o kilogramos.

Nota:

La etiqueta debera ser de un color especifico dependiendo del grado de calidad:

Mexico extra	verde
Mexico 1	azul
Mexico 2	amarillo
No clasificada	rojo

2. Metodo de determinacion de almidon por espectrofotometria

El metodo empleado para la determinacion del almidon en la papa involucra las siguientes etapas:

- I.- Hidrolizacion y neutralizacion de la muestra.
- II.- Clarificacion de la muestra.
- III.- Filtracion.
- IV.- Adicion de reactivo de Nelson.
- V.- Lectura de la muestra en el espectrofotometro.

Elaboracion de la curva estandar

Para la obtencion de la curva estandar se prepara una solucion concentrada de almidon (100 mg de almidon en 100 ml de agua destilada). Posteriormente se lleva a hidrolisis a temperatura de ebullicion durante dos horas, en un medio acido.

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

El producto blanquecino obtenido se filtra, y el filtrado se afora en un matraz de 100 ml con agua destilada, obteniendose entonces una solucion con una concentracion de 1mg/ml.

Desde esta solucion concentrada, se obtienen diluciones de la siguiente manera:

			Diluciones
2.5 ml de sol.concentrada	en 100 ml de a.destilada		25 mg/ml
5.0	"	"	50 mg/ml
7.5	"	"	75 mg/ml
10.0	"	"	100 mg/ml
12.5	"	"	125 mg/ml

Una vez obtenidas las diluciones a distintas concentraciones se procede a preparar las muestras para realizar la lectura de la absorcion de las mismas a 520 nm.

Se coloca 1 ml de cada solucion en los tubos de vidrio y se les adiciona 1 ml de reactivo de Nelson, se llevan a ebullicion en bano Maria durante 20 minutos y se enfrian inmediatamente despues de transcurrido este tiempo.

Posteriormente se le adiciona 1 ml de reactivo de arsenomolibdato y 7 ml de agua destilada, se agitan y se eliminan las burbujas, para evitar interferencias en la

lectura de la absorbancia.

Se realiza la lectura de la absorbancia en un espectrofotometro Espectronic 20, calibrando el aparato previamente con un blanco.

Del procedimiento anterior se obtiene la siguiente curva:

Concentracion (ug / ml)	Absorbancia a 520 nm
25	0.19
50	0.33
75	0.49
100	0.61
125	0.73

La cual presenta: $r = 0.9983$
 $m = 0.0054$
 $b = 0.062$

Con la que se obtiene la ecuacion de la linea recta.

$$Y = mx + b$$

$$Y = (0.0054)x + 0.062$$

Siendo y la absorbancia estimada a 520 nm y siendo x la concentracion de almidon.

Preparacion de soluciones

1. Reactivo de Nelson.

Solucion A. Disolver 12.5 g de Na_2CO_3 anhidro, 12.5 g de tartrato doble de sodio y potasio, 10 g de NaHCO_3 y 100 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ anhidro, disolver en 400 ml. de agua destilada y aforar a 500 ml.

Solucion B. Disolver 15 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en 90 ml de agua destilada que contenga una o dos gotas de H_2SO_4 concentrado, diluir en 100 ml de agua.

Tomar 25 ml de la solucion A y 1 ml. de la solucion B y mezclar. Este reactivo se emplea como reactivo 1 o reactivo de Nelson.

2. Reactivo de arsenomolibdato.

Disolver 25 g de molibdato de amonio en 450 ml. de agua desionizada, agregar 21 ml de H₂SO₄ concentrado y agitar.

Disolver 3 g de Na₂HAsO₄ · 7H₂O en 25 ml. de agua desionizada, y agregar la solución de molibdato. Incubar la disolución amarilla resultante a 37°C durante 24 hr.

Almacenar en un frasco ambar.

3. Solución clarificante.

Solución I. Pesar 21.9 g de acetato de Zn 2H₂O en agua con 3 ml de ácido acético, llevar a 100 ml con agua destilada.

Solución II. Pesar 10.6 g de ferrocianuro de Potasio 3H₂O y llevar a 100 ml. con agua destilada.

3. Metodo de Analisis de Varianza

El analisis de varianza se utiliza, para hacer una particion de la suma de cuadrados total en una parte debida a la regresion y otra debida al error, y describe una tecnica con la que se puede analizar o dividir la variacion total en componentes de variacion significativos. Para tal efecto, se hace uso de la distribucion f de Fisher a un nivel de significancia α .

3.1 Diseno completamente al azar

El diseno completamente al azar, es aquel en el que los tratamientos, son asignados en forma aleatoria a las unidades experimentales, para la comparacion de medias de muestras independientes en unidades homogeneas.

El analisis estadistico, se basa en la descomposicion de la varianza total en una parte debida a los distintos tratamientos y en otra debida al error experimental.

El termino tratamiento, se usa para referirse a los elementos que son sujetos a variacion, de k poblaciones distribuidas normalmente con medias $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ y varianza comun.

El procedimiento se aplica para probar las hipotesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

$$H_1: \text{al menos dos de las medias no son iguales.}$$

Para tal proposito se efectua el siguiente procedimiento:

k Muestras aleatorias

Tratamiento							
	1	2	...	i	...	k	
	y_{11}	y_{12}	...	y_{1i}	...	y_{1k}	
	y_{21}	y_{22}	...	y_{2i}	...	y_{2k}	
	\vdots	\vdots		\vdots		\vdots	
	y_{n1}	y_{n2}	...	y_{ni}	...	y_{nk}	
Total	T_1	T_2	...	T_i	...	T_k	L
Media	\bar{y}_1	\bar{y}_2	...	\bar{y}_i	...	\bar{y}_k	\bar{y}

$$SCT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = \text{suma de cuadrados total,}$$

$$SCA = n \sum_{i=1}^k (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 = \text{suma de cuadrados de tratamientos}$$

$$SCE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 = \text{suma de cuadrados del error.}$$

$$SCE = SCT - SCA$$

La tabla de análisis de varianza, se construye como sigue:

Análisis de varianza para un diseño completamente al azar

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	f calculada
Tratamientos	SCA	k - 1	$s_t^2 = \frac{SCA}{k - 1}$	$\frac{s_t^2}{s^2}$
Error	SCE	k(n - 1)	$s^2 = \frac{SCE}{k(n - 1)}$	
Total	SCT	nk - 1		

Cuando el valor de f calculada, se compara con el valor de f de tablas (determinada con los grados de libertad de los tratamientos y los grados de libertad del error), resulta mayor, se rechaza la hipótesis nula, Ho.

3.2 Diseño factorial

Un diseño factorial se caracteriza por utilizar como tratamientos, a todas las combinaciones posibles de las diferentes modalidades (conocidas como niveles), de cada uno de dos o más variables (conocidas como factores), que posiblemente afecten la variable de respuesta, además de determinar si existe interacción significativa entre ellos.

a. Experimento de dos factores

Para efectuar un analisis de varianza en un experimento de dos factores, se considera el caso de n replicas de las combinaciones de los tratamientos, determinados por a niveles del factor A y b niveles del factor B. Las observaciones pueden clasificarse mediante un arreglo rectangular, en el que los renglones representan los niveles del factor A y las columnas los niveles del factor B. Las observaciones en la (ij) -esima celda, constituyen una muestra aleatoria de tamaño n , tomada de una poblacion que se supone esta distribuida normalmente con media μ_{ij} y varianza σ^2 .

Experimentos de dos factores con n replicas

A	B				Total	Media
	1	2	...	b		
1	Y_{111}	Y_{112}	...	Y_{11b}	$T_{1..}$	$\bar{y}_{1..}$
	Y_{112}	Y_{122}	...	Y_{12b}		
	\vdots	\vdots	...	\vdots		
	Y_{11a}	Y_{12a}	...	Y_{1ba}		
2	Y_{211}	Y_{212}	...	Y_{21b}	$T_{2..}$	$\bar{y}_{2..}$
	Y_{212}	Y_{222}	...	Y_{22b}		
	\vdots	\vdots	...	\vdots		
	Y_{21a}	Y_{22a}	...	Y_{2ba}		
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
a	Y_{a11}	Y_{a12}	...	Y_{a1b}	$T_{a..}$	$\bar{y}_{a..}$
	Y_{a12}	Y_{a22}	...	Y_{a2b}		
	\vdots	\vdots	...	\vdots		
	Y_{a1a}	Y_{a2a}	...	Y_{aba}		
Total	$T_{.1}$	$T_{.2}$...	$T_{.b}$	$T_{...}$	
Media	$\bar{y}_{.1}$	$\bar{y}_{.2}$...	$\bar{y}_{.b}$		$\bar{y}_{...}$

Las hipotesis por probar, son las siguientes:

1. $H^0_1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0$

H^1_1 : al menos uno de los efectos α_i no es igual a cero.

2. $H^0_2 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$

H^1_2 : al menos uno de los efectos β_j no es igual a cero.

3. $H_0: \alpha\beta_1 = \alpha\beta_2 = \dots = \alpha\beta_{ab} = 0$

H_1 : al menos uno de los efectos $\alpha\beta$ ij no es igual a cero.

Estas pruebas se basan en una comparación de las estimaciones independientes de σ^2 .

$$SCT = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{T^2}{abn}$$

$$SCA = \frac{\sum_{i=1}^a T_{i.}^2}{bn} - \frac{T^2}{abn}$$

$$SCB = \frac{\sum_{j=1}^b T_{.j}^2}{an} - \frac{T^2}{abn}$$

$$SC(AB) = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T_{ij.}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^a T_{i.}^2}{bn} - \frac{\sum_{j=1}^b T_{.j}^2}{an} + \frac{T^2}{abn}$$

$$SCE = SCT - SCA - SCB - SC(AB).$$

Análisis de varianza para el experimento con dos factores y n replicas.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	f calculada
Efecto principal				
A	SCA	a - 1	$s_1^2 = \frac{SCA}{a - 1}$	$f_1 = \frac{s_1^2}{s^2}$
B	SCB	b - 1	$s_2^2 = \frac{SCB}{b - 1}$	$f_2 = \frac{s_2^2}{s^2}$
Interacción de dos factores				
AB	SC(AB)	(a - 1)(b - 1)	$s_3^2 = \frac{SC(AB)}{(a - 1)(b - 1)}$	$f_3 = \frac{s_3^2}{s^2}$
Error	SCE	ab(n - 1)	$s^2 = \frac{SCE}{ab(n - 1)}$	
Total	SCT	abn - 1		

Si f calculada es mayor que la f de tablas, se rechaza H_0 .

b. Experimento con tres factores

Cuando se analiza un experimento con tres factores A, B y C, con a , b y c niveles respectivamente, y se tienen n observaciones para cada una a , b , c combinaciones de los tratamientos, se procederá a describir las pruebas de significancia para los tres efectos principales y las interacciones involucradas.

Los principios generales relativos al análisis, son los mismos que los de los experimentos de uno o dos factores. La suma de los cuadrados se particiona en 8 términos, cada uno representa una fuente de variación de la que se obtienen estimaciones independientes de cuando todos los efectos principales y los efectos de interacción son nulos. Si los efectos de cualquier factor o interacción dados no son nulos, el cuadrado medio estimará la varianza del error más un componente debido al efecto sistemático en cuestión.

El análisis de varianza se efectúa como sigue:

1. Construir tablas de la interacción de factores.

A	B				Total
	1	2	...	b	
1	T_{11}	T_{12}	...	T_{1b}	$T_{1.}$
2	T_{21}	T_{22}	...	T_{2b}	$T_{2.}$
...
a	T_{a1}	T_{a2}	...	T_{ab}	$T_{a.}$
Total	$T_{.1}$	$T_{.2}$	...	$T_{.b}$	$T_{..}$

$k = 1, 2, \dots, c$

A	B				Total
	1	2	...	b	
1	$T_{11..}$	$T_{12..}$	...	$T_{1b..}$	$T_{1...}$
2	$T_{21..}$	$T_{22..}$	...	$T_{2b..}$	$T_{2...}$
...
a	$T_{a1..}$	$T_{a2..}$	...	$T_{ab..}$	$T_{a...}$
Total	$T_{.1..}$	$T_{.2..}$	...	$T_{.b..}$	$T_{....}$

A	C				Total
	1	2	...	c	
1	T_{11}	T_{12}	...	T_{1c}	$T_{1...}$
2	T_{21}	T_{22}	...	T_{2c}	$T_{2...}$
...
a	T_{a1}	T_{a2}	...	T_{ac}	$T_{a...}$
Total	$T_{.1}$	$T_{.2}$	...	$T_{.c}$	$T_{...}$

B	C				Total
	1	2	...	c	
1	T_{11}	T_{12}	...	T_{1c}	$T_{1...}$
2	T_{21}	T_{22}	...	T_{2c}	$T_{2...}$
...
b	T_{b1}	T_{b2}	...	T_{bc}	$T_{b...}$
Total	$T_{.1}$	$T_{.2}$	...	$T_{.c}$	$T_{...}$

2. Cálculo de la suma de los cuadrados, sustituyendo en las siguientes formulas:

$$SCT = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{T_{...}^2}{abcn}$$

$$SCA = \frac{\sum_{i=1}^a T_{i...}^2}{bn} - \frac{T_{...}^2}{abcn}$$

$$SCB = \frac{\sum_{j=1}^b T_{.j...}^2}{cn} - \frac{T_{...}^2}{abcn}$$

$$SCC = \frac{\sum_{k=1}^c T_{...k}^2}{abn} - \frac{T_{...}^2}{abcn}$$

$$SC(AB) = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T_{ij...}^2}{cn} - \frac{\sum_{i=1}^a T_{i...}^2}{bn} - \frac{\sum_{j=1}^b T_{.j...}^2}{cn} + \frac{T_{...}^2}{abcn}$$

$$SC(AC) = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c T_{ik...}^2}{bn} - \frac{\sum_{i=1}^a T_{i...}^2}{bn} - \frac{\sum_{k=1}^c T_{...k}^2}{abn} + \frac{T_{...}^2}{abcn}$$

$$SC(BC) = \frac{\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c T_{jk...}^2}{an} - \frac{\sum_{j=1}^b T_{.j...}^2}{cn} - \frac{\sum_{k=1}^c T_{...k}^2}{abn} + \frac{T_{...}^2}{abcn}$$

$$SC(ABC) = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c T_{ijk...}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T_{ij...}^2}{cn} - \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c T_{ik...}^2}{bn} - \frac{\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c T_{jk...}^2}{an} + \frac{\sum_{i=1}^a T_{i...}^2}{bn} + \frac{\sum_{j=1}^b T_{.j...}^2}{cn} + \frac{\sum_{k=1}^c T_{...k}^2}{abn} - \frac{T_{...}^2}{abcn}$$

3. Se calcula, la suma del cuadrado del error.

$$SCE = SCT - SCA - SCB - SCC - SC(AB) - SC(AC) - SC(BC) - SC(ABC)$$

$$s^2 = SCE / (abc(n - 1))$$

Si f calculada es mayor que f de tablas el factor analizado resulta significativo.

Tabla de analisis de varianza para el experimento con tres factores y con n replicas.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	f calculada
Efecto principal				
A	SCA	$a - 1$	s_1^2	$f_1 = \frac{s_1^2}{s^2}$
B	SCB	$b - 1$	s_2^2	$f_2 = \frac{s_2^2}{s^2}$
C	SCC	$c - 1$	s_3^2	$f_3 = \frac{s_3^2}{s^2}$
Interacción de dos factores				
AB	SC(AB)	$(a - 1)(b - 1)$	s_4^2	$f_4 = \frac{s_4^2}{s^2}$
AC	SC(AC)	$(a - 1)(c - 1)$	s_5^2	$f_5 = \frac{s_5^2}{s^2}$
BC	SC(BC)	$(b - 1)(c - 1)$	s_6^2	$f_6 = \frac{s_6^2}{s^2}$
Interacción de tres factores				
ABC	SC(ABC)	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	s_7^2	$f_7 = \frac{s_7^2}{s^2}$
Error	SCE	$abc(n - 1)$	s^2	
Total	SCT	$abcn - 1$		

Nomenclatura

T_{ij} = suma de las observaciones en la (ij) -ésima celda

$T_{i..}$ = suma de las observaciones para el i -ésimo nivel del factor A

$T_{.j.}$ = suma de las observaciones para el j -ésimo nivel del factor B

$T_{...}$ = suma de todas las abn observaciones

\bar{y}_{ij} = media de observaciones en la (ij) -ésima celda

$\bar{y}_{i..}$ = media de las observaciones para el i -ésimo nivel del factor A

$\bar{y}_{.j.}$ = media de las observaciones para el j -ésimo nivel del factor B

$\bar{y}_{...}$ = media de todas las abn observaciones