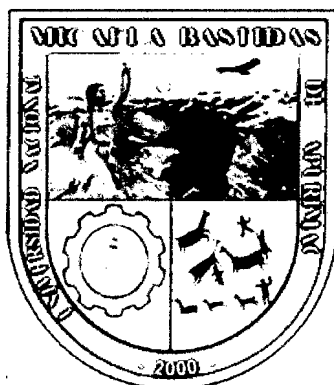


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS EN EL SECADO DE FÉCULA DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) CALIDAD TERCERA EN UN SECADOR FLASH TIPO NEUMÁTICO”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

JHONY QUISPE QUILCA

Abancay, Mayo del 2012

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL MICHAELA BASTIDAS DE APURIMAC	
CÓDIGO	MFN
T 1A5 Q 2012	BIBLIOTECA CENTRAL
FECHA DE INGRESO:	18 OCT. 2012
Nº DE INGRESO:	00287



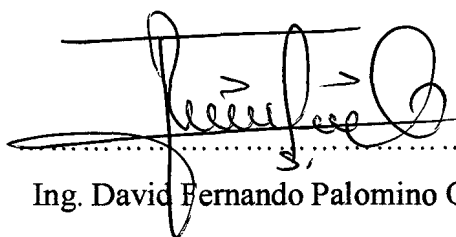
**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS
EN EL SECADO DE FÉCULA DE PAPA (*Solanum
tuberosum* L.) CALIDAD TERCERA EN UN
SECADOR FLASH TIPO NEUMÁTICO”**


**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
DE APURÍMAC**

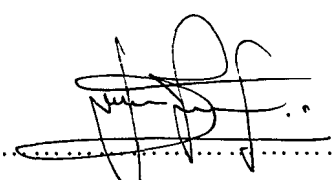
FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**

Jurado calificador integrado por:


.....
Ing. David Fernando Palomino Quispe
Presidente


.....
Ing. Alfredo Fernández Ayma
Jurado


.....
Ing. Didi Juan Flores Cruz
Jurado


.....
Ing. Ruth Mery Ccopa Flores
Asesor



DEDICATORIA

A mis Padres Zenobio y Dionicia, por su amor, apoyo incondicional durante toda mi formación profesional, por ser mi ejemplo y guía, y por estar conmigo en los momentos más felices y difíciles de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la vida y oportunidades en ella, por darme la dicha de contar con personas muy importantes y maravillosas y por los logros obtenidos a lo largo de mi vida.

Con admiración a mis Padres; zenobio y Dionicia, con especial amor, gratitud y completo reconocimiento, por su apoyo incondicional, para realizarme como profesional, infinitas gracias, que Dios los bendiga siempre.

A mis Hermanos; Con quienes tuve el honor de compartir parte de mi vida, Zenobio, Edgar, Viviana, Marleny y María Fernanda, con amor y gratitud por su apoyo, y a quienes les deseo éxitos en su vida y profesión, todos son importantes.

A la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, y a cada uno de los docentes de la Escuela Académico De Ingeniería Agroindustrial, por los conocimientos impartidos durante mi etapa de formación profesional.

A la Ing. Ruth Mery Ccopa Flores, por la asesoría de esta investigación y apoyo durante todo el desarrollo de la tesis. Gracias por ser una gran persona y amiga.

A los miembros del jurado calificador, Ing. David Fernando Palomino Quispe, Ing. Alfredo Fernández Ayma y al Ing. Didí Juan Flores Cruz, quienes con sus correcciones y aportes puntuales hacen que este trabajo de investigación tenga un valor científico, gracias por todo.

A la Planta Piloto Procesadora de Almidón de Papa – Andahuaylas; de igual modo al jefe de Planta Ing. Julio Tamara Mautino y al jefe de producción Bach. Ing. Percy Quispe Alarcón, por darme la oportunidad para desarrollar mi Proyecto de Titulación.

En general a mis compañeros y amigos, por su apoyo en todos los momentos de mi vida, de igual manera a todos los jefes de laboratorio por su apoyo incondicional durante la realización de la tesis, y finalmente a todas las personas que de alguna manera se involucraron en esta investigación.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. ORIGEN DE LA PAPA (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	3
2.1.1. Descripción de la papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	3
2.1.1.1. Descripción botánica	3
2.1.1.2. Clasificación taxonómica	5
2.1.1.3. Composición química y valor nutricional	5
2.1.2. Estacionalidad de producción de papa	6
2.1.3. Departamentos productores de papa	7
2.1.4. Calidad de la papa	8
2.2. ALMIDÓN.	8
2.2.1. Gránulos de almidón	9
2.2.2. Estructura química	11
A. Amilosa	11
B. Amilopectina	12
C. Proporción amilosa y amilopectina.	13
2.2.3. Composición química	14
2.2.4. Propiedades	19
A. Gelatinización	20
B. Formación de pasta	21
C. Retro degradación	21
2.2.5. Tipos de almidones	22
A. Almidones naturales	22
B. Almidones modificados	22
2.2.6. Aplicaciones	23
2.3. SECADO POR AIRE CALIENTE	25
2.3.1. Concepto de secado	25
2.3.2. Características del secado por aire caliente	26
2.3.3. Factores que intervienen en el proceso de secado	28
A. Temperatura en el proceso de secado	28
B. Humedad relativa del aire	28
C. Velocidad del aire	29
D. Aire como agente secante	29
2.3.4. Tipos de secadores	30
2.3.5. Secaderos neumáticos	31



III. PARTE EXPERIMENTAL	35
3.1. Maquinarias, equipos, materiales y reactivos	35
3.2. Métodos de análisis	38
3.2.1. Determinación de humedad	38
3.2.2. Análisis de las propiedades funcionales de la fécula	38
A. Temperatura de gelatinización	38
B. Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Poder de hinchamiento (PH)	39
3.3. metodología experimental	40
3.3.1. Materia prima	40
3.3.2. Obtención de fécula de papa calidad tercera	40
3.3.3. Optimización de parámetros	47
3.3.4. Análisis fisicoquímico proximal de la fécula	49
3.4. Análisis estadístico	52
3.4.1. Factores en Estudio	52
3.4.2. Tratamientos	53
3.4.3. Diseño Experimental	54
3.4.4. Características del Experimento	54
3.4.5. Procesamiento de datos	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	55
4.1. Evaluación de los efectos de los tratamientos	55
4.1.1. Efecto de los tratamientos en la humedad	55
4.1.2. Efecto de los tratamientos en el IAA	61
4.1.3. Efecto de los tratamientos en el ISA	63
4.1.4. Efecto de los tratamientos en el PH	65
4.1.5. Efecto de los tratamientos en la TG	68
4.2. Optimización de los parámetros de secado	69
4.3. Balance de Materia	80
4.3.1. Rendimiento de la fécula	82
4.4. Análisis fisicoquímico proximal de la fécula	82
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
5.1. Conclusiones	85
5.2. Recomendaciones	86
VI. BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	91



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
1.	Composición química por 100 gramos de porción comestible	5
2.	Producción de papa por departamento	7
3.	Calibres para comercialización de la papa	8
4.	Características físicas y químicas de distintos almidones	11
5.	Composición química promedio de almidones comerciales	16
6.	Número de factores en estudio	53
7.	Evaluación de número de tratamiento en estudio	53
8.	Análisis de la varianza de contenido de humedad	55
9.	Prueba de Tukey para tratamientos en contenido de humedad	58
10.	Análisis de componentes de varianza para humedad	59
11.	Efecto de los tratamientos en la humedad de la fécula	59
12.	Análisis de la varianza de índice de absorción de agua	61
13.	Efecto de los tratamientos en el índice de absorción de agua	62
14.	Análisis de la varianza de índice de solubilidad en agua	64
15.	Efecto de los tratamientos en el índice de solubilidad en agua	64
16.	Análisis de la varianza de Poder de hinchamiento	66
17.	Efecto de los tratamientos en el Poder de hinchamiento	67
18.	Valores evaluados en la optimización mediante superficie de respuestas, bajo un diseño central compuesto rotatable	71
19.	Plan de experimentos generado para la optimización y el resultado de cada corrida	73
20.	Análisis de la Varianza para humedad	74
21.	Valores óptimos de los factores evaluados	79
22.	Análisis proximal de la fécula de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1.	Representación gráfica de una planta de papa <i>Solanum tuberosum</i> L.	4
2.	Estacionalidad de la producción de papa en el Perú según región	6
3.	Micrografías electrónicas de gránulos de almidón	10
4.	Estructura de la amilosa	12
5.	Estructura de amilopectina	14
6.	Organización estructural del gránulo de almidón	14
7.	Gelatinización del almidón	20
8.	Clasificación de los principales tipos de secadores	30
9.	Secadero con transporte neumático con disgregador	32
10.	Diagrama de bloques para la obtención de fécula de papa	46
11.	Variación de humedad (%)	60
12.	Variación Índice de absorción de agua	62
13.	Variación del Índice de solubilidad de agua	65
14.	Variación de Poder de hinchamiento	67
15.	Porcentaje de humedad cuantificado en cada tratamiento	74
16.	Pareto estandarizado para % de humedad	75
17.	Análisis de superficie de respuesta de humedad generado por Stagnostics centurion XV	76
18.	Análisis de superficie de respuesta de humedad generado por Statistica 8	77
19.	Análisis de superficie de respuesta de contorno para humedad	77
20.	Diagrama de flujo cuantitativo de las operaciones unitarias	81

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad de optimizar los parámetros de secado de fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) en un secador flash tipo neumático con el uso de procesos térmicos de secado con aire caliente forzado con temperaturas de estudio de 50 y 60 °C con cargas de alimentación de 2.7, 3.1 y 3.3 kg/min. La papa de calidad tercera es proveniente de los distintos distritos de la provincia de Andahuaylas departamento de Apurímac – Perú.

Al obtener la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera se evaluó la humedad y las propiedades funcionales como índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), poder de hinchamiento (PH) y temperatura de gelatinización. Se usó un diseño factorial y análisis de varianza con un 95% de exigencia en el cual no existieron diferencias significativas en los parámetros evaluados, solo la variable de respuesta de Humedad fue altamente significativo, por ello se aplicó el método superficie de respuesta, empleando un diseño de experimento con tendencia central compuesta, obteniendo graficas y una ecuación cuadrática, el cual al interrelacionarse indicaron los valores promedio de las variables de respuesta y las condiciones más adecuadas de secado, se han encontrado las regiones óptimas para cada factor, siendo éstas del TA de 50 a 60 °C, CA abarca de 2.7 a 3 kg/min. Sin embargo en la optimización final, se han encontrado los valores óptimos para cada factor (55 °C, 3.0: kg/min), resultando el producto con una humedad optima de 18,123%.

La fécula obtenida en base a sus parámetros óptimos mostró el siguiente análisis proximal de humedad, grasa, proteína, ceniza, fibra y carbohidratos de 18.10%, 0,05%; 0,07%; 0,40%; 0.02% y 81,36% respectivamente. En cuanto al rendimiento se ha obtenido un valor adecuado de 15,17%.

ABSTRACT

This research was aimed to optimize the drying parameters starch potato (*Solanum tuberosum* L.) in a pneumatic flash dryer using thermal processes of forced hot air drying to study temperature of 50 and 60 ° C with feedstocks 2,7; 3,1 and 3,3 kg / min. The third quality potato came from different districts of the province of Apurimac department Andahuaylas – Perú.

In obtaining the starch potato (*Solanum tuberosum* L.) was evaluated as the third humidity and functional properties as water absorption index (IAA), water solubility index (ISA), swelling power (PH) and temperature gelatinization. We used a factorial design and analysis of variance with 95% of demand in which no significant differences in the parameters evaluated, only the variable humidity response was highly significant, so we applied the response surface method, using a experimental design with composite central tendency, graphs, and obtaining a quadratic equation, which are interrelated indicated average values of response variables and the most suitable for drying, have been found optimal regions for each factor, and these are the TA 50 to 60 ° C, CA comprised of 2,7 to 3 Kilograms/Minute However in the final optimization, have been found optimal values for each factor (55 ° C; 3,0: Kilograms/Minute), resulting in the product with a 18,123% optimum moisture.

The starch obtained based on their optimal parameters showed the following proximate analysis of moisture, fat, protein, ash, fiber and carbohydrates of 18,36%; 0,05%; 0,07%; 0,40%; 0,02% and 81,36% respectively. In terms of performance we have obtained a suitable value of 15,17%.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las materias primas utilizadas como fuentes para extracción de almidón son los tubérculos de papa; especie importante en el sistema global de alimentación, pues contribuye a los requerimientos energéticos de más de mil millones de personas en el mundo y cuya producción para el año 2007 fue de 325 millones de toneladas (FAO 2008). La producción mundial de papa ha aumentado a una tasa media anual del 4.5 por ciento en los últimos 10 años permitiendo vincular el uso del tubérculo en diferentes procesos de la industria alimentaria como en almidón; donde la fécula de papa debe poseer fundamentalmente una humedad adecuada y propiedades como: baja temperatura de gelatinización, baja tendencia a la retrogradación, alta viscosidad, alta capacidad de retención de agua, sabor suave y buena estabilidad (Lajolo y Wenzel 2006).

En la obtención de la fécula de papa el secado es uno de las operaciones unitarias primordiales para su conservación y calidad del mismo. Consiste en la extracción del agua contenida en la fécula por un secador flash tipo neumático, hasta que el nivel de agua y/o humedad sea adecuada. Con el proceso de secado se aumenta la vida de anaquel mediante la reducción de la actividad de agua, lo que inhibe el crecimiento microbiano (Sharma, 2003).

Los secadores instantáneos son uno de los equipos más empleados a nivel planta piloto. En la Planta Piloto de Procesamiento de Almidón de Andahuaylas cuenta con un secador flash de tipo neumático, el cual opera a las siguientes condiciones: temperatura de 40 a 100 °C, velocidad de carga de 2 a 3.5 kg/min. Sin embargo no se había realizado un análisis comparativo para observar si

existe interacción frente al producto secado en sus propiedades fisicoquímicas, funcionales y principalmente humedad final.

Una de las técnicas más eficientes para la optimización de procesos es la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR); la cual tiene como objetivo principal determinar las condiciones de operación óptima para un sistema, o determinar la región del espacio de los factores en la que se satisfacen las condiciones de operación del secador. Por ende el presente estudio es un aporte al desarrollo del campo científico y agroindustrial, con esta investigación se proporciona un producto de buena calidad producido en la Planta Piloto Procesadora de Almidón de Andahuaylas, a través del secado óptimo de la fécula de papa *Solanum tuberosum* L. calidad tercera en un secador flash de tipo neumático para que conserve sus características funcionales y fisicoquímicas propias del producto y exigidas por el mercado. Para lograr los resultados propuestos, se estableció como objetivo general, Determinar los parámetros óptimos de sacado de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera, en función a la carga y temperatura de aire caliente en el secador flash tipo neumático, habiéndose establecido los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la humedad y las propiedades funcionales de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) de calidad tercera, a diferentes temperaturas de ingreso de aire caliente y diferentes cargas de alimentación al secador flash tipo neumático
- Evaluar el rendimiento y el análisis fisicoquímico proximal de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) de calidad tercera, obtenida con los mejores parámetros de procesamiento.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ORIGEN DE LA PAPA (*Solanum tuberosum* L.)

El centro de origen de la papa *Solanum tuberosum* L. y sus parientes más afines se encuentra en América, y su distribución es desde el Sur-Oeste de Estados Unidos de Norteamérica hasta las islas mojadas de los Chonos. A lo largo de toda la cordillera andina encontramos una gran variabilidad especies y entre ellas 176 son silvestres y sólo siete cultivadas. La mayor variabilidad de especies se ubica en los andes peruanobolivianos, en donde los pueblos aborígenes empezaron a usar tempranamente esta planta en su alimentación. Existen datos arqueológicos de uso de papa en Perú con 8.000 años de antigüedad. (Gómez, J. 2002)

Según Henkes y Dunn (1981) las primeras siembras estuvieron cercanas a las orillas del lago Titicaca, entre las fronteras de Perú y de Bolivia. En Europa fue introducida en el año de 1570. Actualmente su consumo se ha extendido, formando parte de la dieta alimenticia en varios países del mundo

2.1.1. Descripción de la papa (*Solanum tuberosum* L.)

2.1.1.1. Descripción botánica

Es una planta anual herbácea, con hojas alternas, simples, sin estípulas; inflorescencia cimosa, con flores bisexuales, actinomorfas, cáliz de 5 sépalos unidos, persistente; corola de 5 pétalos unidos rotados; androceo de 5 estambres insertos en el tubo de corola y alternos con sus lóbulos; gineceo constituido por un pistilo compuesto de 2 carpelos con 2 lóculos, óvulos numerosos,

placentación axilar, ovario súpero, estiloterminar (Figura 1).

El fruto es una baya, semillas con un embrión curvo o recto dentro de un espermo, de sabor desagradable y probablemente venenosa, con semillas fértiles, pero que no se emplean para la propagación, excepto cuando se desea obtener nuevas variedades. Debajo del suelo, a partir del extremo de un estolón se forman los tubérculos cargados de almidón. (Jones, SB. 1987)

En cuanto al clima final la papa se produce en climas templados y fríos adaptándose bien a alturas comprendidas entre los 1,000 a 2,400 msnm, con temperaturas óptimas para un buen desarrollo de 16 a 24 °C hasta un mínimo de 12 °C. Su propagación es típicamente asexual, por medio de tubérculos o fragmentos que tengan ojos (yemas rudimentarias) (Jones, SB. 1987).



Figura 1: Representación gráfica de una planta de papa *Solanum tuberosum* L.

Fuente: www.hort.purdue.edu

2.1.1.2. Clasificación taxonómica.

Reino: Vegetal

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: Solanum

Especie: *Solanum tuberosum* L. (Jones, SB. 1987).

2.1.1.3. Composición química y valor nutricional

La papa es de gran valor nutritivo, posee un bajo valor de proteína respecto a la que posee la carne pero logra superar a la que posee el trigo, la avena y las verduras. La composición química de la papa puede variar de acuerdo al clima, fertilidad del suelo, verduras y algunas otras condiciones que favorezcan a la formación de un buen tubérculo (Gómez, J. 2002)

Tabla 1: Composición química del tubérculo en gramos, megagramos y microgramos por 100 gr. de peso fresco.

Componente	gr./100 gr. de peso fresco
Agua	77.4
Carbohidratos totales	17.4
Proteína	2.7
Grasas	0.1
Calcio (mg./100g)	14.7
Fósforo (mg./100g)	89.0
Hierro (mcg/100g)	0.8
Tiamina (mcg/100g)	52.6
Niacina (mg/100g)	1.4
Fibra cruda	0.6
Riboflavina (mcg/100g)	33.7
Sólidos totales	22.6
Cenizas	0.9

Fuente: Christiansen, 1980

2.1.2. Estacionalidad de producción de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Estacionalidad de su producción, la cual viene determinada básicamente por lo que sucede en la Sierra, que concentra su producción entre marzo y junio. Dicho fenómeno se explica por el sistema de riego de secano que utilizan (es decir, tierra agrícola que no posee riego y depende totalmente del régimen de lluvias). En esta Región, las condiciones de la naturaleza imponen una restricción al productor en cuanto a la decisión de la fecha de siembra.

En cambio en la Costa, debido a la mayor disponibilidad de agua de riego, es posible sembrar y cosechar durante la mayor parte del año. No obstante, en la Costa suelen hacerlo entre los meses de agosto y noviembre, porque en dicho período (al haber escasez de oferta por parte de los productores de la Sierra) es posible aprovechar un mayor precio por la venta de su producto (MINAG, 2009).

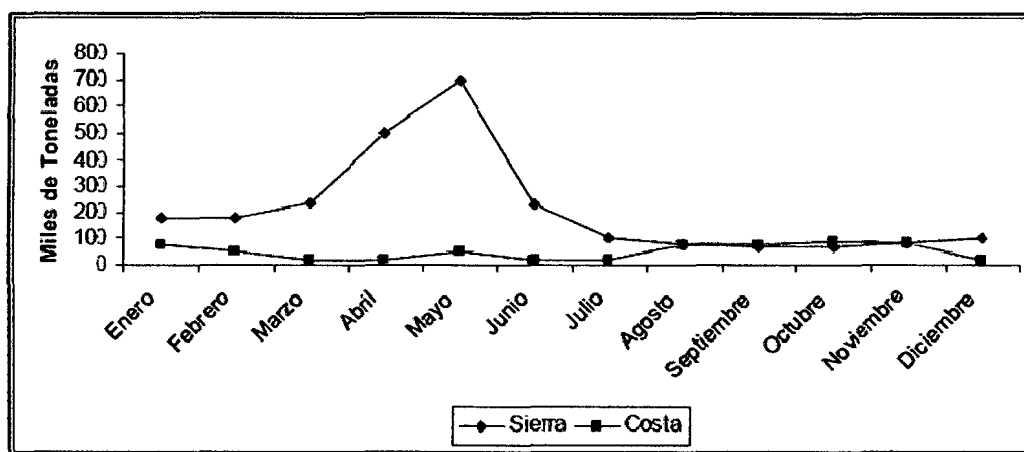


Figura 2: Estacionalidad de la producción de papa en el Perú según región (2001 – 2004)

Fuente: MINAG, 2007.

2.1.3. Departamentos productores de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Se produce papa fundamentalmente en la sierra y en la costa del Perú. El 85% de la producción se encuentra en la sierra siendo Junín, Huánuco y Puno los departamentos de mayor producción nacional. En Huánuco la producción se ha incrementado en áreas y rendimientos en los últimos años.

Tabla 2: producción de papa por departamento periodo: Enero-diciembre (2007-2008) en toneladas.

DEPARTAMENTO	PRODUCCIÓN DE PAPA EN TONELADAS	
	2007	2008
Piura	488	5263
Lambayeque	2420	1627
La liberta	169608	147617
Cajamarca	120250	122318
Chota	78043	83239
Jaén	387	431
Amazonas	21775	24361
Ancash	55462	63707
Lima	39600	33799
Ica	432	232
Huánuco	203518	182116
Pasco	53128	88517
Junín	131339	159317
Huancavelica	34335	35981
Arequipa	52411	46276
Moquegua	3196	2699
Ayacucho	59037	97120
Apurímac	22703	24982
Cusco	124914	110026
Puno	310442	305831

Fuente: (MINAG, 2008)

2.1.4. Calidad de la papa (*Solanum tuberosum* L.)

Las papa deben de cumplir con una serie de características tales como ser consistentes. Tal y como lo establece el reglamento, las papas deben ser sólidas al tacto. Deben ser papas sanas libres de enfermedades causadas por bacterias y hongos, así como también de daños ocasionados por insectos y roedores. Deben estar exentas de tierra o cualquier materia extraña visible, de olores extraños y sin coloraciones internas diferentes a la propia del alimento.

Tabla 3: Calibres para comercialización de la papa.

Variedad	Diámetros y peso promedio	Calibres			
		Extra	Primera	Segunda	Tercera
Canchan	D mayor (mm)	134 – 102	101 – 75	74 – 49	48- 25
	D menor (mm)	107 – 72	71 – 51	50 – 38	37 – 20
	Peso (g)	639 -320	319 – 155	154 – 45	44 – 30
Perricholi	D mayor (mm)	127 – 101	100 – 76	75 – 55	54 – 26
	D menor (mm)	108 – 80	79 – 55	54 – 44	43 – 20
	Peso (g)	615 – 382	381 – 179	178 – 50	49 – 35
Yungay	D mayor (mm)	151 – 104	103 – 73	72 – 45	44 – 20
	D menor (mm)	101 – 61	60 – 45	44 – 32	31 – 15
	Peso (g)	710 – 321	320 – 132	131 – 20	19 – 15

Fuente: Propuesta para Norma Técnica de Comercialización de Papa. DGCA.

2.2. ALMIDÓN.

El almidón es un biopolímero formado por residuos de D-glucosa unidos mediante enlaces glucosídicos y constituye el producto final de la fijación fotosintética del CO₂ atmosférico. El almidón ha constituido una parte importante en la dieta del hombre desde tiempos prehistóricos; es el segundo polisacárido más abundante después de la celulosa y es el primero en



importancia desde el punto de vista comercial al utilizarse ampliamente en la industria alimenticia y farmacéutica (Sivack y Preiss, 1998).

Se encuentra en forma de gránulos insolubles en las semillas o granos, tubérculos, raíces y tallos de las plantas, de las cuales constituye su principal forma de reserva energética que es utilizada durante los periodos de dormancia, germinación y crecimiento de las plantas (Beynum y Roels, 1985; Biliaderis, 1991; Badui, 2001).

Durante la formación del gránulo, el almidón se deposita en capas concéntricas sucesivas y superpuestas alrededor de un núcleo central “hilium”, formando así un gránulo compacto. El tamaño, forma y composición de los gránulos dependen de la fuente botánica, de la bioquímica de los cloroplastos o amiloplastos, y de la fisiología de la planta, lo que resulta de gran utilidad para su identificación al microscopio (Smith, 2005).

2.2.1. Gránulos de almidón.

La amilosa y la amilopectina existen como agregados semi-cristalinos llamados gránulos. A medida que la planta produce moléculas de almidón, éste es depositado en sucesivas capas en forma radial alrededor de un hilo central en orden tal de formar un grano compacto; para ello, las moléculas de amilosa y amilopectina se combinan por medio de enlaces de hidrógeno distribuyéndose, al parecer, en forma homogénea (Linden y Lorient, 2000).

Los gránulos de almidón pueden ser de forma redonda, ovalada, poligonal, lenticular e irregular. El tamaño de los gránulos de almidón varía de 1 a 100 μm , siendo mayores los gránulos del almidón de papa (<110 μm), seguido

por los gránulos del almidón de trigo ($<30\ \mu\text{m}$) y por los gránulos del almidón de maíz ($<25\ \mu\text{m}$), de acuerdo a su tamaño, los gránulos de almidón se clasifican como gránulos grandes ($>25\ \mu\text{m}$), gránulos medianos ($\geq 10 \leq 25\ \mu\text{m}$), gránulos pequeños ($\geq 5 \leq 10\ \mu\text{m}$) y gránulos muy pequeños ($<5\ \mu\text{m}$) (Lindeboom, 2004)

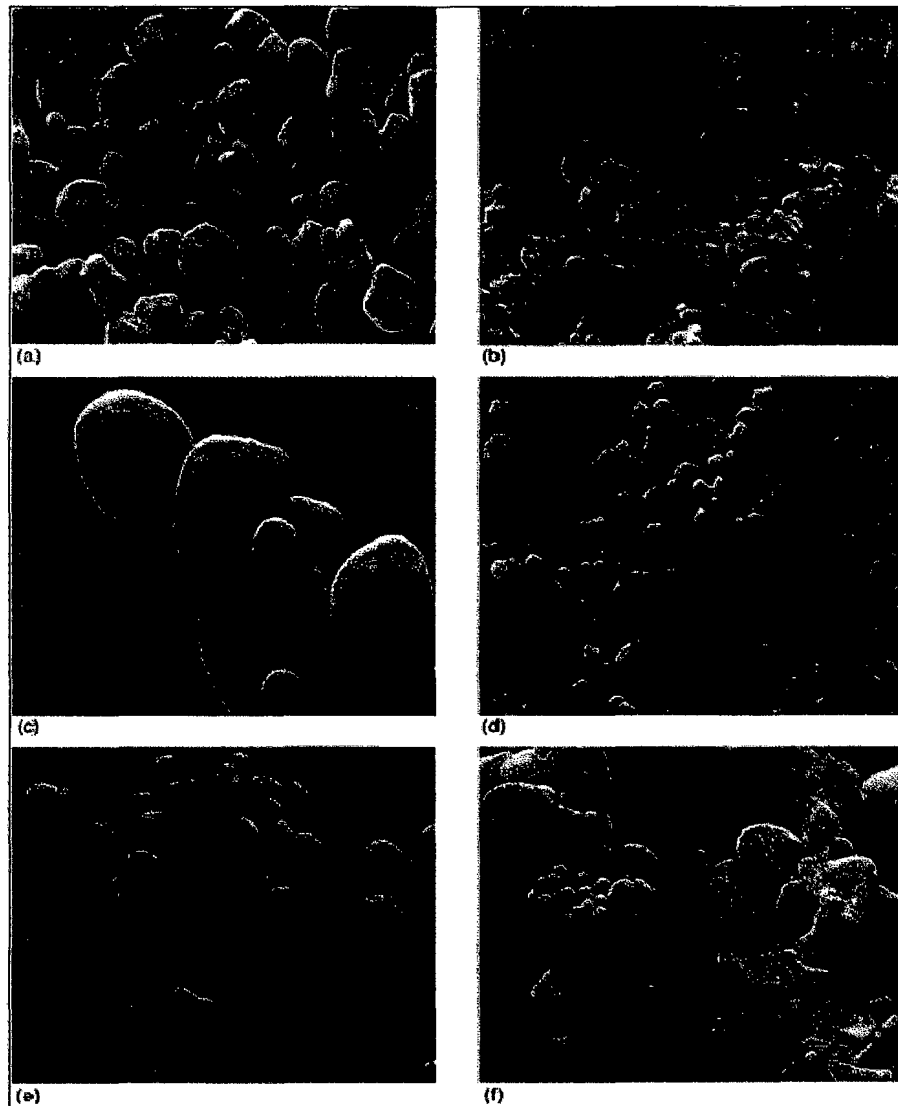


Figura 3. Micrografías electrónicas de gránulos de almidón: maíz (a), avena (b), papa (c), arroz (d), tapioca (e) y trigo (f)

Escala 1 : 1000

Fuente: Jackson, 2003.

Tabla 4: Características físicas y químicas de distintos almidones

Fuente Botánica	Tamaño (um)	Intervalo Promedio	Amilosa (%)	Poder de humectación	Solubilidad 95°C (%)	Gelatinización	Forma
Cebada	2-35	20	22	-----	-----	56-62	Redondo
Maíz regular	5-25	15	26	24	25	62-80	Redondo
Maíz cereo	5-15	15	~1	64	23	63-74	Redondo
Amilomaíz	2-30	15	>80	6	12	85-87	Redondo
Papa	5-100	33	22	100	82	56-69	Almeja
Arroz	3-8	5	17	19	18	61-80	Poligonal
Sagu	20-60	25	27	97	-----	60-74	Huevo
Sorgo	5-25	15	26	22	22	68-78	Redondo
Tapioca	5-35	20	17	48	48	52-64	Redondo
Trigo	2-35	15	25	41	41	53-72	Redondo
Camote	5-35	15	22	85	85	58-70	Almeja
Arrurruz	10-60	30	20	90	88	56-70	Almeja

Fuente: Pomeranz, 1991.

2.2.2. Estructura química.

El almidón es una mezcla de dos polisacáridos: amilosa y amilopectina; ambos representan de 98-99% del peso seco del material de origen.

A. Amilosa.

Es el constituyente menos abundante en el almidón y sus moléculas son simples y pequeñas (Linden y Lorient, 2000). Es básicamente un polímero lineal (Figura 4), constituido por moléculas de D glucopiranosas unidas casi en su

totalidad por enlaces α -1,4. Estudios recientes indican que también presenta algunos enlaces α -1,6 (Thomas y Atwell, 2004).

Las moléculas de amilosa tienden a formar estructuras helicoidales. Esta estructura le permite formar complejos con moléculas hidrofóbicas, debido a que en el interior de la hélice se ubican los átomos de hidrogeno (Hermansson y Svegmarm, 1996). Se caracteriza por formar soluciones acuosas que gelifican y retrogradan al enfriarse; en contacto con el yodo forma un complejo de color azul (Badui, 1998).

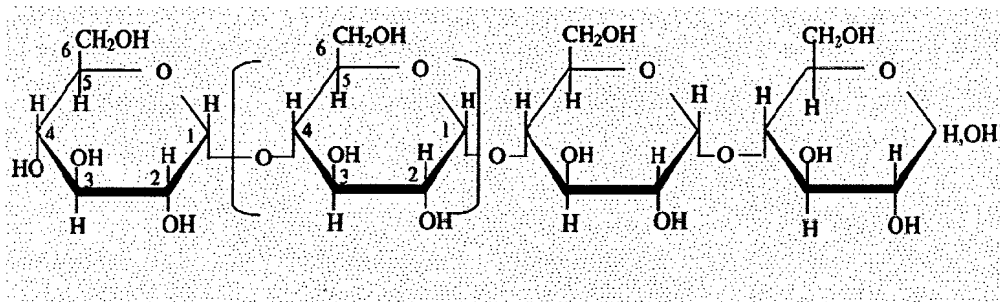


Figura 4: Estructura de la amilosa

Fuente: Tester y Karkalas, 2002.

B. Amilopectina.

Es un polímero ramificado (Figura 5), de mayor tamaño que la amilosa, compuesto por moléculas de D-glucopiranosas unidas por enlaces α -1,4 y α -1,6 (Thomas y Atwell, 2004).

Las pastas producidas con almidones ricos en amilopectina no forman geles y usualmente tienen una estructura cohesiva y gomosa, además tienen una baja retrogradación. Al contacto con yodo toma un color violeta (Badui, 1998).



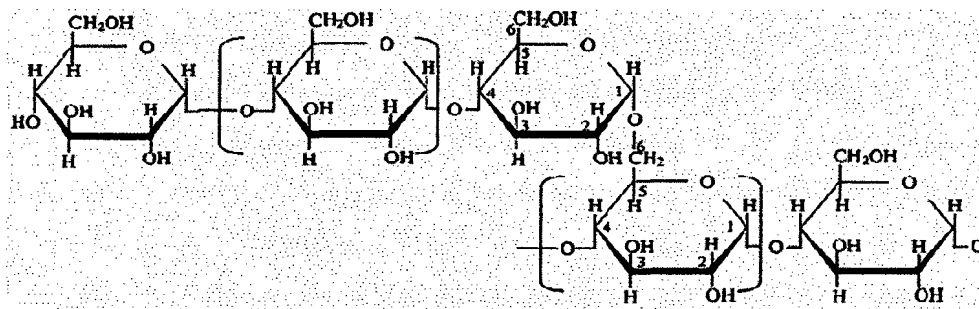


Figura 5: Estructura de amilopectina

Fuente: Tester y Karkalas, 2002.

C. Proporción amilosa y amilopectina.

La proporción amilosa y amilopectina que existe en el almidón es un punto muy importante a considerar con respecto a su funcionalidad; esta proporción dicta las conductas de gelatinización y las características del gel o de la pasta resultante (Thomas y Atwell, 2004). Comúnmente, el almidón está conformado por un 25 % de amilosa y un 75% de amilopectina (Fennema, 2000).

La gelatinización de un almidón con un alto contenido de amilosa, forma un gel firme y cortable; en el caso de uno rico en amilopectina, este presentará un alto pico de viscosidad seguido por un quiebre durante el calentamiento sin formación de gel. Después del enfriado, la pasta resultante es considerada cohesiva y viscoelástica (Thomas y Atwell, 2004).

En la figura 6 se muestra un gránulo de almidón en el que se ve reflejada la luz del microscopio (parte clara), también se aprecia una parte donde podría estar presente la región cristalina, en donde se empaquetan las dobles hélices de amilopectina con conformación y longitud características. Dentro del gránulo de almidón se localizan zonas cristalinas de moléculas de amilopectina y amilosa

ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrógeno, así como zonas amorfas formadas principalmente por la amilosa, las cuales no tienen posibilidad de asociarse entre sí o con las moléculas de amilopectina (Beynum y Roels, 1985).

Estas áreas micelares altamente cristalinas y orientadas explican la capacidad de los gránulos para rotar el plano de la luz polarizada, produciendo una cruz característica de interferencia, llamada “cruz de malta”.

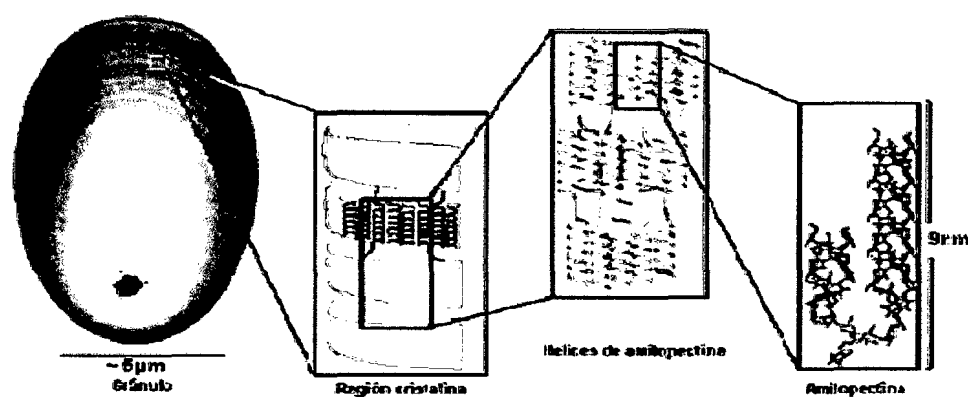


Figura 6: Organización estructural del gránulo de almidón

Fuente: Blennowet *al.*, 2002.

2.2.3. Composición química

La composición química de los almidones comerciales depende de la fuente botánica, del proceso de obtención y purificación, así como de las condiciones de almacenamiento (Beynum y Roels, 1985).

El agua normal de hidratación en los almidones se localiza en el carbono 6 de los residuos de glucosa y su contenido depende de la fuente y el procedimiento de obtención, del proceso de secado y de la humedad relativa del medio. El contenido de humedad en los gránulos de almidón va de un 10 al 12% en cereales y de 14 a 19% en almidones de tubérculos y raíces. Un contenido

superior de humedad puede ocasionar daño microbiano y por tanto, el deterioro en la calidad del polímero. Además, todos los almidones contienen pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, fósforo y trazas de materiales inorgánicos (Beynum y Roels, 1985).

El contenido de fósforo en la mayoría de los almidones es mínimo, con excepción del almidón de papa, que hasta ahora es el único almidón comercial que contiene una cantidad apreciable de fósforo ($>0.10\%$) en forma de monoéster de fosfatos; en tanto que el almidón de maíz ceroso contiene sólo un 0.007% de este elemento. Generalmente el fósforo en el almidón se encuentra en tres formas: como fosfolípidos, como fosfatos inorgánicos y como monoéster de fosfato unido covalentemente con algunas fracciones de amilopectina. El monoéster de fosfato se encuentra en un 61% unido al C-6, el 38% enlazado al C-3, y 1% en unión con el C-2 de las moléculas de glucosa, respectivamente (Singh; 2003).

La cantidad de grupos fosfato presentes en el almidón de papa oscila entre un grupo fosfato por cada 200 a 400 unidades de glucosa, confiriéndole al gránulo una carga superficial negativa que imparte propiedades de polielectrolito al almidón de papa cuando se dispersa en soluciones acuosas (Beynum y Roels, 1985).

Tabla 5: Composición química promedio de almidones comerciales

Fuente	Humedad	Lípidos	Proteínas	Fósforo	Cenizas
Maíz	13	0,60	0,35	0,015	0,10
Papa	19	0,05	0,06	0,100	0,40
Trigo	14	0,80	0,40	0,060	0,15
Tapioca	13	0,10	0,10	0,010	0,20
Maíz cereo	13	0,20	0,25	0,007	0,07
Sorgo	13	0,70	0,30	---	0,08
Arroz	---	0,80	0,45	0,003	0,50
Sagu	---	0,10	0,10	0,020	0,20
Amilomaíz	13	0,40	---	0,070	0,20
Camote	13	0,05	---	---	0,10

1: Determinado a una humedad reativa del 65%

2: Estimado de acuerdo al % de nitrógeno x 6.25

Fuente: Whistler, 1984; Beynum y Roels, 1985; Moorthy, 2002.

El fósforo presente en el almidón, proporciona un efecto significativo en el alimento que lo contiene. Ocasiona una mayor estabilidad al descongelamiento, así como un incremento en la claridad de las pastas. Adicionalmente, provoca un rápido hinchamiento de los gránulos de almidón a temperaturas relativamente bajas, lo que indica un débil enlazamiento interno como consecuencia de los grupos fosfato que se encuentran esterificados y ionizados que contribuyen al hinchamiento del gránulo debido a una repulsión eléctrica mutua al forzar la expansión de la molécula. El fósforo contenido en gránulos de almidones de raíces y tubérculos como la papa, ocasionan un pronunciado incremento en la viscosidad durante el calentamiento o cocinado de sus dispersiones, en comparación con almidones provenientes de cereales (Whistler, 1984; Beynum y Roels, 1985; Moorthy, 2002).

Los lípidos presentes en los gránulos de almidón se encuentran formando complejos de inclusión con las moléculas de amilosa; dichos complejos son insolubles en agua fría pero se disocian al calentarse a temperaturas superiores a

los 125°C. Entre los principales ácidos grasos que conforman los lípidos contenidos en los almidones se encuentra el ácido palmítico, el ácido oleico, el ácido linoleico y los fosfolípidos. El contenido de lípidos en almidones de tubérculos como la papa, el camote y la tapioca es muy pequeño (<0.1%) comparado con los almidones provenientes de cereales (maíz, trigo, arroz, cebada y sorgo), los cuales contienen de 0.6 a 1.0% de lípidos. Los lípidos tienen un marcado efecto en la calidad y en las propiedades físicas y funcionales de los almidones, estos disminuyen la capacidad de hinchamiento, la solubilidad y la capacidad de retención de agua; son causantes de la formación de sabores indeseables durante el almacenamiento debido a su rancidez. Da lugar a pastas, películas turbias y opacas debido a la formación de complejos amilosalípidos insolubles, lo que afecta la viscosidad de los geles preparados con estos almidones (Beynum y Roels, 1985)

Los almidones de tubérculos contienen pequeñas cantidades de proteína (<0.1%) en comparación con los almidones de cereales, los cuales contienen de 0.25 a 0.6%, al igual que los lípidos, las proteínas se encuentran asociadas con el gránulo, y en la periferia del mismo; las proteínas integrales son de mayor peso molecular que las superficiales (50-150 y 15-30 kDa respectivamente) e incluyen residuos de enzimas involucradas en la síntesis de almidón, especialmente sintetasas (Baldwin, 2001).

Las proteínas confieren al almidón un aroma y sabor a harina, además de cierta capacidad espumante. Cerca del 10% de las proteínas asociadas al almidón, se encuentran en la superficie del gránulo y pueden ser fácilmente extraídas con agua o soluciones salinas. Estas proteínas pueden afectar la carga superficial del gránulo, lo cual influye directamente la velocidad de hidratación,

la velocidad de hinchamiento, y la gelatinización del mismo (Beynum y Roels, 1985). Entre las proteínas asociadas a la superficie del gránulo está la enzima α -amilasa, cuya acción hidrolítica afecta las propiedades reológicas del almidón en dispersión, de ahí la importancia de eliminarlas durante el proceso de obtención de este polímero (Moorthy, 2002).

El almidón contiene cantidades traza de minerales (<0.5%) entre los que destacan; calcio, magnesio, potasio, sodio y fósforo, los cuales, con excepción del fósforo son de poca importancia en la funcionalidad del almidón (Badui, 2001; Tester *et al.*, 2002).

El almidón de papa contiene grupos fosfato en forma de sales, los cuales constituyen los principales componentes de sus minerales; en los almidones de cereales, el contenido de cenizas corresponde parcialmente con la cantidad de fosfolípidos. Los almidones de raíces contienen cantidades muy pequeñas de compuestos fosforados, sin embargo, el almidón de papa contiene una cantidad apreciable de fosfato en forma de éster, unidos al carbono 6 de los residuos de glucosa en la molécula de amilopectina. El alto contenido de fósforo puede permitir el desarrollo de altas viscosidades a las dispersiones acuosas de almidón y también mejorar la fuerza de gel (Beynum y Roels, 1985).

La frecuencia de grupos fosfato en el almidón de papa oscila de un grupo fosfato por cada 200 a 400 unidades de glucosa, lo que confiere al gránulo una carga superficial negativa que imparte propiedades de un polielectrolito al almidón de papa cuando está en solución (Whistler, 1984; Beynum y Roels, 1985).

La presencia de estos grupos fosfato en las moléculas de almidón son los responsables del mayor hinchamiento a bajas temperaturas de los almidones de raíces y tubérculos como la tapioca y la papa, por lo que los almidones de estas fuentes presentan un pronunciado incremento en la viscosidad durante su calentamiento en comparación con los almidones de cereales (Beynum y Roels, 1985; Moorthy, 2002).

2.2.4. Propiedades

El almidón proveniente de una misma fuente botánica es una mezcla integrada por gránulos de distinto tamaño, los cuales difieren tanto en su composición química como en sus propiedades endotérmicas que finalmente repercuten en las características particulares de cada tipo de almidón. Los gránulos pequeños presentan un mayor contenido de amilosa en comparación con los gránulos de mayor tamaño (Pomeranz, 1991).

Almidones nativos presentan propiedades funcionales que pueden ser deseables para ciertas aplicaciones, la gelatinización, retrogradación, birrefringencia, solubilidad, claridad, viscosidad, capacidad de retención de agua e hinchamiento, son fenómenos que pueden ayudar a explicar la estabilidad del biopolímero y por tanto sugerir su aplicación adecuada (Biliaderis, 1991).

El almidón presenta una alta estabilidad y organización debido a las múltiples interacciones que existen entre la amilosa y la amilopectina, esto ocasiona que sea insoluble en agua fría; sin embargo, cuando se calienta en exceso de agua (>70%) ocurre una pérdida de cristalinidad; originando que la forma semicristalina cambie a una forma eventualmente amorfa (Tester y Debon, 2000).

A. Gelatinización

La gelatinización del almidón es un proceso que se da en presencia de agua en el cual, se pasa de un estado ordenado (estructura cristalina) a un estado desordenado en el que se absorbe calor; es decir, la gelatinización transforma a los gránulos insolubles del almidón, en una solución de sus moléculas constituyentes (amilosa y amilopectina) en forma individual.

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero se hidratan e hinchan en agua caliente dando origen a la formación de pastas viscosas. Este hinchamiento de los gránulos de almidón es reversible hasta una cierta temperatura conocida como temperatura de gelatinización, la cual es característica de cada tipo de almidón y corresponde a la temperatura a la cual se alcanza el máximo de viscosidad, se pierde la birrefringencia y se rompen los gránulos solubilizando amilosa y amilopectina; la amilosa se difunde en el agua formando una malla y generando un gel y la amilopectina permanece en el gránulo para posteriormente perder su orden (Beynum y Roels, 1985; Hoover, 2001).

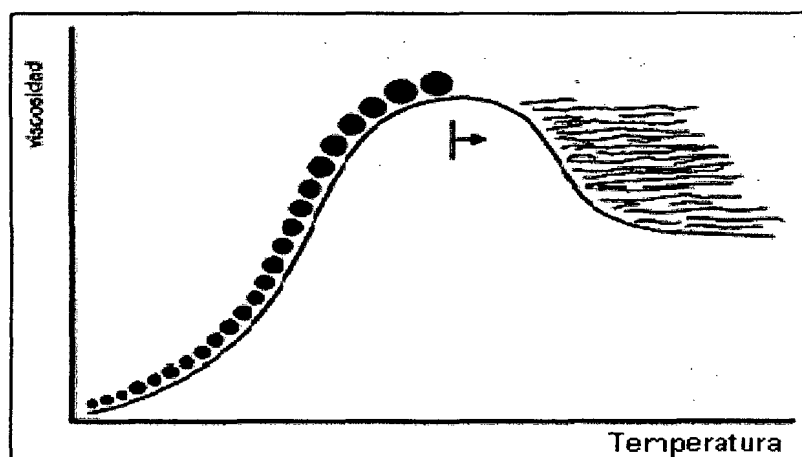


Figura 7: Gelatinización del almidón

Fuente: Badui, 2001.

B. Formación de pasta.

La formación de pasta es el fenómeno que ocurre a continuación de la gelatinización en la solución de almidón, comprende el hinchamiento granular, la exudación de componentes moleculares desde el gránulo y eventualmente, la disrupción total de los gránulos (Atwellet *al.*, 1988).

C. Retrogradación.

La retrogradación es el proceso que ocurre cuando las cadenas de almidón comienzan a reasociarse en una estructura ordenada. En su fase inicial, dos o más cadenas de almidones pueden formar un simple punto de unión, en el cual puede desarrollarse un ordenamiento extensivo a toda una región y bajo condiciones favorables, presentar un ordenamiento cristalino (Atwellet *al.*, 1988).

La retrogradación es especialmente evidente cuando el almidón tiene un alto contenido de amilosa y es enfriado. Después del enfriamiento, hay una menor disponibilidad de energía para mantener separadas las moléculas de almidón solubilizado, dando lugar a la formación de agregados cristalinos y a una textura de gel. Con el tiempo, este gel se torna gomoso y tiene la tendencia a liberar agua; a esta liberación se le denomina sinéresis y es común en productos como salsas que ha sido formuladas con amilosa (Thomas y Atwell, 2004).

Durante la retrogradación, la amilosa forma asociaciones de doble hélice de 40-70 unidades de glucosa, cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, la cual está íntimamente relacionada a la presencia de solutos como lípidos, sales, azúcares; al tipo y concentración de almidón, regímenes de

cocimiento y enfriamiento; y a su contenido de amilosa. Debido a que las ramificaciones de amilopectina impiden la formación de puentes de hidrógeno con moléculas adyacentes, es más difícil que éstas desarrollen la retrogradación. La retrogradación se manifiesta por la formación de precipitados o geles que afectan la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón (Beynum y Roels, 1985; Badui, 2001).

2.2.5. Tipos de almidones.

A. Almidones Naturales.

Se les denomina así, porque son almidones que no han sufrido ningún proceso de modificación química durante su obtención.

B. Almidones Modificados.

Se les denomina así, porque son almidones que sí han sufrido algún proceso de modificación en la estructura natural por métodos químicos, físicos y enzimáticos durante su obtención.

Entre las principales ventajas del empleo de los almidones vale la pena resaltar las siguientes: (J. Adrian, 1990.)

- Aumentan la estabilidad de la mezcla y/o producto.
- Tienen una amplia gama de aplicación.
- Aumentan la capacidad para enlazar agua en condiciones frías y con calor.
- Reducen el encogimiento durante la cocción.
- Mejoran las características del rebanado.
- Reducen costos.

- Incrementan la viscosidad de productos.
- Tiene mayor dispersabilidad.
- Aplicación en productos que no requiere procesos de cocimiento.
- Estabilidad a altas temperaturas.

2.2.6. Aplicaciones

Dadas sus propiedades fisicoquímicas y funcionales (propiedades gelificantes, espesantes, adhesivas, de recubrimiento y acabado), el almidón encuentra una gran variedad de aplicaciones en diversos campos de la industria alimentaria y farmacéutica, así como en la industria papelera, la minería, la petroquímica y en la industria química, entre otras (Shamekhet *al.*, 2002; Magali *et al.*, 2003; Lindeboom *et al.*, 2004). La capacidad que tiene el almidón de formar pastas es quizás la propiedad más explotada industrialmente.

Se aplica en la elaboración de una gran variedad de productos con objeto de mejorar su textura e incrementar su estabilidad, dado que su incorporación incrementa la viscosidad y favorece la estabilidad de las dispersiones al retardar la separación de fases (Badui, 2001).

Entre los principales usos del almidón en la industria alimentaria destacan: la elaboración de jarabes con alto contenido de glucosa y jarabes con alto contenido de fructosa, la obtención de glucosa y fructosa cristalina, así como la obtención de dextrinas, maltodextrinas y ciclodextrinas. Adicionalmente, se utiliza como agente estabilizante y espesante en la elaboración de gelatinas, helados, sopas, salsas, etc. Debido a que aumenta la esponjosidad, mejora la textura e imparte el color dorado a la corteza, el almidón es importante en la elaboración de productos horneados como galletas,

bizcochos, etc. Desde el punto de vista de cantidad, la modificación más importante a la que se somete el almidón es su hidrólisis en la producción de edulcorantes (Shamekhet *al.*, 2002). Adicionalmente a estos usos, en la última década el almidón también ha sido utilizado en la elaboración de películas comestibles, debido a sus características de barrera a gases (O_2 y CO_2).

En la industria farmacéutica el almidón se utiliza como materia prima para la fabricación de dextrosa para la elaboración de sueros, como excipiente en la elaboración de comprimidos y pastillas, así como en la elaboración de cápsulas y otros productos. Así mismo, el almidón se utiliza como agente estabilizante y espesante en la elaboración de suspensiones y jarabes.

En la industria papelera el almidón se utiliza para la fabricación de pasta de papel, papel cauché, papel kraft, cartón, etc.

En la industria minera y petroquímica el almidón se utiliza como agente floculante en las minas de potasio y en las perforaciones petrolíferas. También se utiliza como agente floculante en el tratamiento de aguas residuales para la eliminación de metales pesados (cadmio, cobre, níquel, plomo, etc.) y como floculante selectivo para recuperar vanadio en la metalurgia del plomo y el cobre. Entre las aplicaciones más importantes del almidón en la industria química destacan la fabricación de colas, pegamentos y en la elaboración de poliéster para la fabricación de espumas de poliuretano (Beynum y Roels, 1985; Badui, 2001). Dado que el almidón por sí solo no cubre todos los requerimientos que demandan las modernas necesidades de la industria, en muchos casos se procede a su modificación con objeto de realzar o disminuir sus propiedades intrínsecas, o bien, para impartirle nuevas propiedades. Es por ello que entre los

tratamientos más utilizados para el mejoramiento de las propiedades funcionales del almidón se tienen los siguientes: la esterificación, hidrólisis, pre gelatinización, oxidación, eterificación y entrecruzamiento (Beynum y Roels, 1985; Badui, 2001).

2.3. SECADO POR AIRE CALIENTE

2.3.1. Concepto de secado

El secado, es la eliminación del agua de un alimento en forma de vapor mientras es calentado. Los alimentos deshidratados tienen una actividad de agua mínima; por lo tanto, los microorganismos no pueden proliferar y quedan interrumpidas la mayoría de las reacciones químicas y enzimáticas, que alteran la calidad del alimento. El secado o deshidratación, aparte de tener un fin de conservación, disminuye el peso y el volumen de los alimentos, con lo cual facilita y reduce los costos del transporte y el almacenamiento (Fellows, 1994; Brennan y Butter, 1998).

Según Chacón, 2006, el deshidratado requiere de tres parámetros fundamentales:

- Adición de energía, la que calienta el producto y convierte el agua en vapor.
- La capacidad del aire de absorber el vapor de agua producido por el producto, que depende de la humedad y la temperatura del aire.
- La velocidad del aire sobre la superficie del producto debe ser alta, principalmente al iniciar el proceso de deshidratación, con el objetivo de sacar la humedad rápidamente.

Según Brennan y Butter, 1998, los métodos utilizados para secar los productos alimenticios se puede clasificar como:

- Secado por aire caliente: se pone el alimento en contacto con una corriente de aire caliente. El calor se suministra al producto principalmente por convección.
- Secado por contacto directo con una superficie caliente: El calor se suministra al producto, principalmente por conducción.
- Secado mediante el aporte de energía procedente de una fuente radiante, de microondas o dieléctrica.
- Liofilización: El agua de los alimentos se congela y luego se sublima, normalmente mediante la aplicación de calor en condiciones de presión muy bajas.

2.3.2. Características del secado por aire caliente

En la actualidad la mayor parte de los productos deshidratados, se obtienen por medio de esta técnica, que es la más simple y económica. El secado por corriente de aire caliente es la técnica más sencilla. Tiene lugar en el interior de una cámara cerrada y a temperatura elevada, por la que se hace pasar el medio de secado, aire caliente a una temperatura y humedad controlada, sobre el producto, colocado sobre bandejas abiertas. Se le llama también secadores directos o por convección (Casp y Abril, 2003).

Los factores que afectan a la velocidad y al tiempo total de secado son: las propiedades físicas del producto, tamaño de partícula y la geometría; su organización geométrica con respecto al aire; propiedades físicas del aire y las características de diseño del secadero. Los mecanismos de transferencia de

humedad dependen de los tipos o estados físicos de los productos alimenticios y del proceso de secado (Rahman, 2002).

El secado por aire consiste en un proceso de transferencia simultánea de materia y de calor. Por lo tanto, existen dos resistencias: una a la transferencia de calor y la otra de materia. Durante el período de velocidad constante, el secado está dominado por la transferencia externa de calor. En el período de velocidad decreciente el secado está dominado por la resistencia a la transferencia interna de materia. El contenido de humedad al cual el período de secado cambia, de una velocidad constante a decreciente, puede ser considerado como el contenido crítico de humedad (Rahman, 2002).

Al secar un sólido húmedo con aire caliente, éste aporta el calor sensible y el calor latente de vaporización del agua y actúa también como gas portador, para eliminar el vapor de agua que se forma en alrededor de la superficie de evaporación (Brennan y Butters, 1998).

La configuración básica de un secador de aire, tiene una cámara especial donde el alimento es colocado y está equipado con un sistema generador de aire caliente y una serie de conductos, que permiten la circulación de aire caliente alrededor y a través del alimento. El aire es calentado mientras entra al secador con el uso de resistencias eléctricas o una combinación directa con gases de combustión. La configuración básica de un secador consiste de un sistema que genere aire caliente; el cual puede estar compuesto de un ventilador y de una serie de resistencias eléctricas para generar calor, también con un calefactor y un alimentador (Barbosa y Vega, 1996).

2.3.3. Factores que intervienen en el proceso de secado.

A. Temperatura en el proceso de secado.

La temperatura de secado está estrechamente relacionada con la humedad relativa del aire, ya que influye en la calidad organoléptica del producto final, por ejemplo, si la temperatura del aire de secado es alta y su humedad relativa es baja, existe peligro de que la humedad que será eliminada de la superficie de los alimentos se elimine más rápido de lo que el agua puede difundirse del interior húmedo del alimento al exterior y se forme un endurecimiento o costra en la superficie del material. Esta capa impermeable o límite, retarda la libre difusión de la humedad y puede ser evitada controlando la humedad relativa del aire circulante y la temperatura del mismo (Ress y col., 1991).

B. Humedad relativa del aire

La humedad relativa del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. Generalmente, este valor se expresa como porcentaje (%). A medida que aumenta la temperatura del aire, también aumenta su capacidad de absorción de humedad; cuando la temperatura disminuye sucede lo contrario.

La temperatura de secado está estrechamente relacionada con la humedad relativa del aire, ya que influye en la calidad organoléptica del producto final. Cuando la temperatura del aire de secado es alta y su humedad relativa es baja, existe el riesgo de que la humedad de la superficie del alimento se elimine más rápido de lo que el agua puede difundirse del interior húmedo a la superficie del alimento. Al evitar esto, se inhibe la formación de costras (Andritsoset *al.*,



2003). Por ello es importante, tener muy en cuenta las velocidades de flujo de aire.

C. Velocidad del aire

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el alimento facilitando su evaporación. En segundo lugar, ayuda a transportar la humedad saliente del material.

La velocidad de secado aumenta a medida que incrementa la velocidad de aire que fluye sobre el alimento (Foust, 1990). A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado.

La capa limite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. Cuanto menor sea el espesor de la capa limite, mas rápida será la remoción de humedad. Por otra parte, el flujo de aire es importante, uno turbulento es mucho más eficaz que uno laminar. (Lewicki y Michaluk, 2004).

D. Aire como agente secante.

Los productos alimenticios pueden ser secados con aire, vapor sobrecalentado, en vacío, con gas inerte y con la aplicación directa de calor.

Generalmente se utiliza aire como medio deshidratador debido a su abundancia, su conveniencia ya que puede ser regulado sobre el calentamiento del alimento (Fellows y col., 1994). El aire caliente causa la transferencia de calor que hace posible la deshidratación del alimento, además, conduce el aire

húmedo a la salida del secador y la velocidad de secado aumenta a medida que incrementa la velocidad de aire que fluye sobre el alimento (Foust, 1990).

2.3.4. Tipos de secadores

A continuación, en la Figura 8, se describen de manera simplificada algunos tipos de secadores que se utilizan en procesos de secado por transmisión de calor (Casp y Abril, 2003).

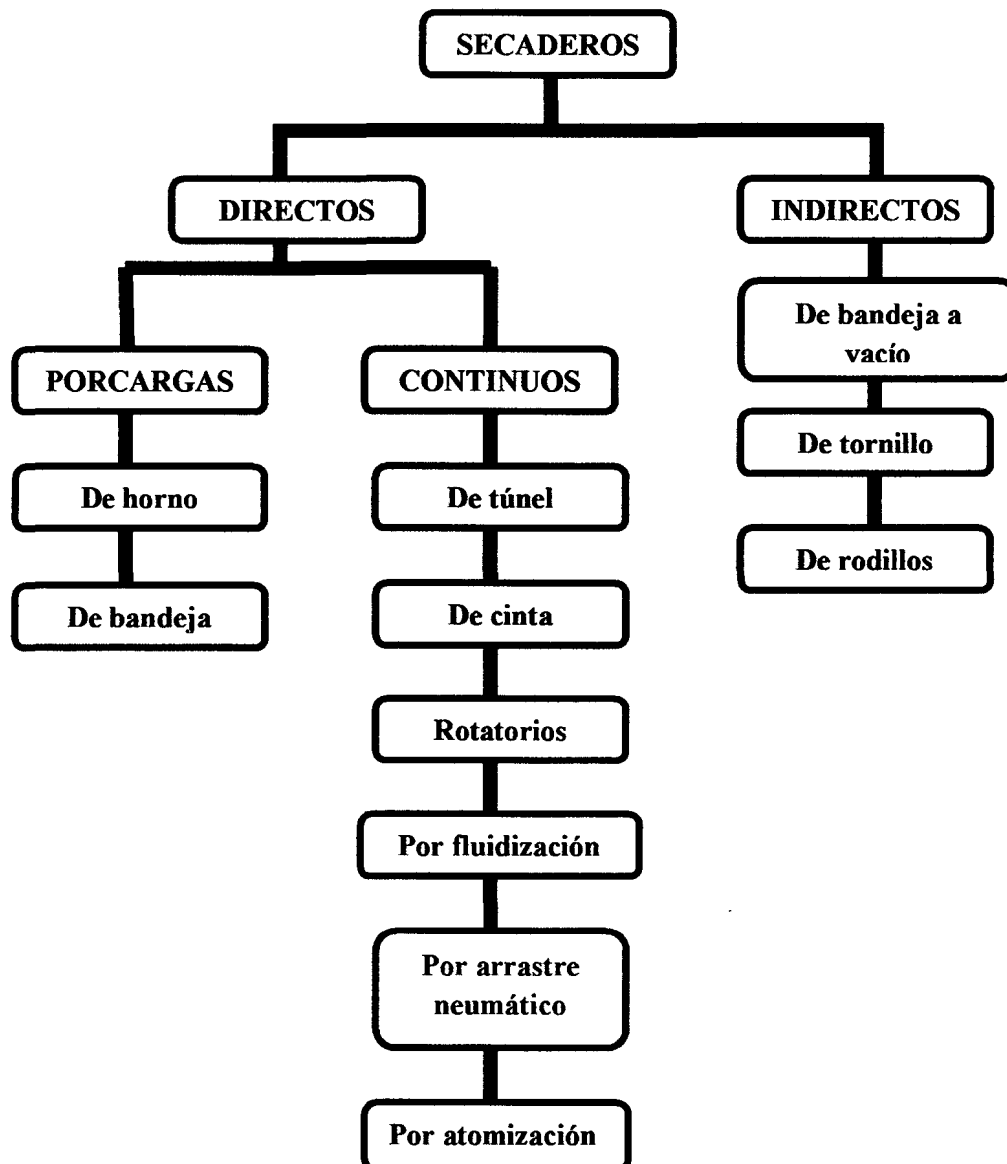


Figura 8. Clasificación de los principales tipos de secadores

Fuente: Casp y Abril, 2003.

2.3.5. Secaderos neumáticos

Los equipos de secado neumático o Flash son los más económicos para el secado de sólidos que han sido escurridos o tienen un bajo contenido de humedad. En este tipo de equipos, se presentan en simultáneo los fenómenos de mezcla y transferencia de masa y calor produciendo un secado inmediato en la superficie en una simple operación. En este tipo de secadero el producto húmedo se mantiene en suspensión en una corriente de aire caliente que lo transporta a través del sistema de desecación. Es como un secado en lecho fluidizado empleando velocidades de aire más altas. Todo el proceso de secado se desarrolla en tubo vertical o tubo Flash. El secado tiene lugar al forzar el gas de secado (usualmente aire) a través del calentador y el tubo flash en sentido ascendente. (Nonhebel y Moss, 1979).

En un secadero simple de este tipo, el producto de alimentación se introduce en una fuerte corriente de aire caliente y los sólidos son transportados por esta corriente a través de conductos de suficiente longitud para que el tiempo de residencia sea el adecuado. El aire sale del sistema a través de un separador sólido-gas, normalmente de tipo ciclónico, recogándose el producto seco. En la Figura 9 se muestra un secadero de este tipo.

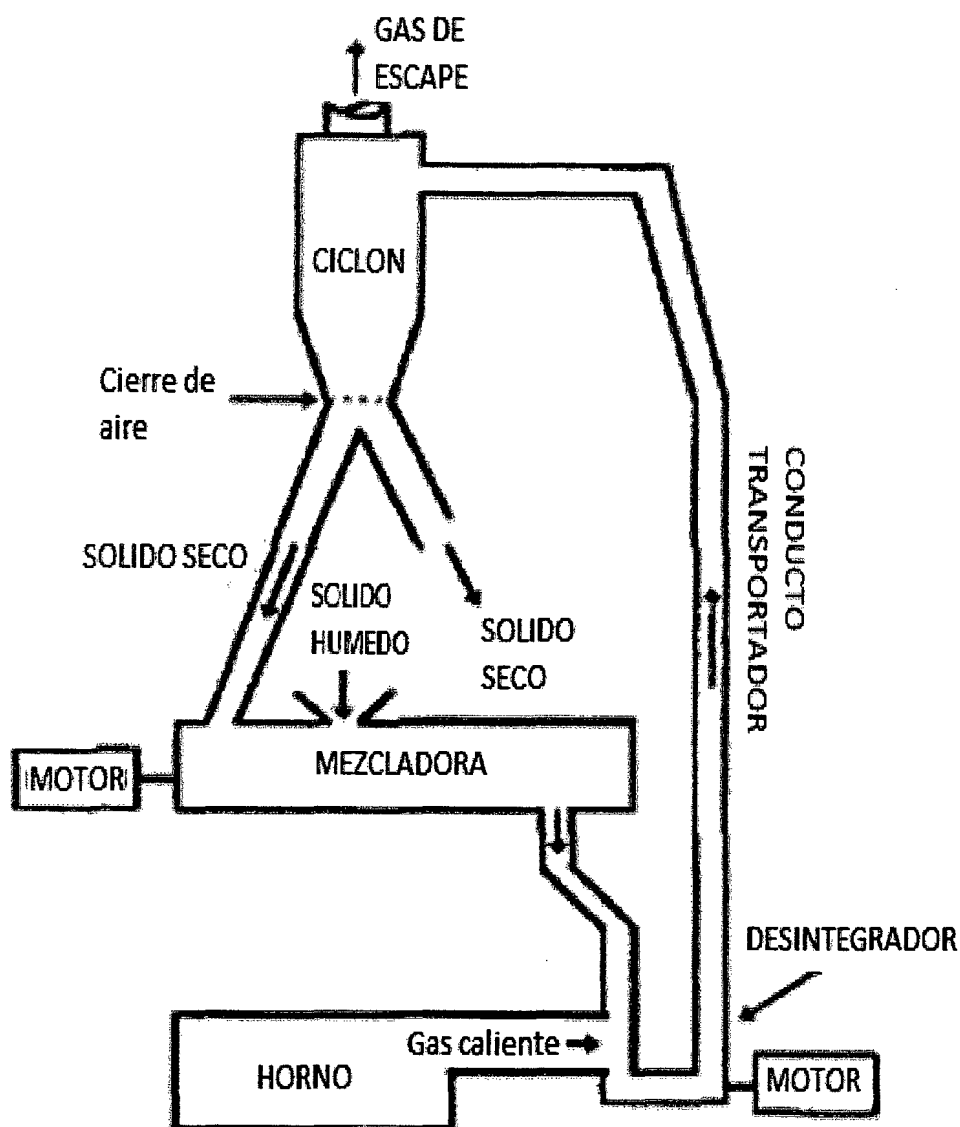


Figura 9: Secadero con transporte neumático con disgregador (tipo Raymond)

Fuente: Nonhebel y Moss, 1979.

Estos secaderos utilizan temperaturas del aire caliente, dependiendo de las especificaciones de aplicación y producto, como el tiempo de contacto es breve, la temperatura del gas puede ser alta sin que se produzca la descomposición del material. El caudal de gas suele proporcionar una velocidad superficial de alrededor de 25 m/s (Nonhebel y Moss, 1979).

Con frecuencia, el material se encuentra en una forma tal que requiere alguna fuerza disgregante para que pueda ser transportado, en tales casos se emplea algún molino o disgregador y los gases calientes se avientan a través del material durante la disgregación con lo cual se consigue el 70% del secado. Los secaderos de esta clase tienen nombres diversos tales como secaderos relámpago, secaderos con dispersión, secaderos “trumpvertex”.

Los conductos de desecación pueden estar dispuestos verticalmente como en los “*Air Lift Driers*” (secaderos de aire ascendente) o bien horizontalmente. En los sistemas de paso único la temperatura del aire tiene que ser relativamente alta para evitar conducciones excesivamente largas. Introduciendo en el sistema cámaras de expansión, puede ejercerse un mejor control de la temperatura del aire en las diferentes fases. Otra posibilidad consiste en disponer en serie dos o más secaderos y suministrar a cada uno aire fresco.

Existe un secadero neumático anular en el que el producto puede permanecer circulando de forma continua durante varios minutos mientras se renueva constantemente el aire de desecación, se introduce producto fresco y se saca continuamente producto seco (Nonhebel y Moss, 1979). En este tipo de unidades el tiempo de desecación puede variarse dentro de un amplio margen.

Las principales características de los secaderos neumáticos son muy similares a las de los secaderos de lecho fluidizado:

- La aplicación de estos secaderos queda limitada a sólidos manipulables.
- Se consiguen altas velocidades de desecación.
- La unidad actúa simultáneamente como secadero y transportador, lo que es útil en determinadas circunstancias.

Los secaderos neumáticos se han usado en el tratamiento de muchos productos alimenticios como granos de cereales, harinas, patatas granuladas, cubos de carne, derivados lácteos, sal común.

Como secaderos secundarios de la leche en polvo y ovoproductos. Al margen de la industria alimentaria, se han utilizado en el tratamiento de la hulla, lodos, tortas de filtros de presión, etc.

Estos secaderos también sirven para secar sólidos no granulares, en éstos es necesario una disgregación para que se efectúe su dispersión adecuada en la corriente de gas a gran velocidad. Se acostumbra recircular producto seco con el material húmedo de alimentación para facilitar la dispersión y el manejo.

III. PARTE EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones y laboratorios de la Planta Piloto Procesadora de Almidón de Papa, edificado en el campus del Ministerio de Agricultura, ubicado en el distrito de San Gerónimo, provincia de Andahuaylas como también en los laboratorios de Química, Operaciones unitarias y Microbiología de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac sede Abancay, realizadas entre los meses de Agosto del 2011 a Enero del 2012..

3.1. Maquinarias, equipos, materiales y reactivos

3.1.1. Maquinarias de marca JARCON

- Lavadora de papas horizontal motor eléctrico de 4 Hp, capacidad de 1250Kg/h
- Despedrador Helicoidal moto-electro bomba de 6 hp
- Faja transportadora inclinada o de alimentación motor reductor eléctrico de 2 hp
- Molino superrasp motor eléctrico de 20 Hp
- Tanque agitador motor acuático de 0.5 Hp
- Batería de hidrociclones bomba de acero inoxidable de 1.5 Hp
- Tamizador vertical DMS logra en dos etapas. La primera con el tamiz D650, D450 elimina la fibra
- Centrifuga de canasta motor eléctrico de 4 Hp
- Secador flash tipo neumático motor eléctrico del ventilador de 20 Hp

- Tamiz vibrador refinador de 200 micras
- Transporte neumático, motor eléctrico de 5 Hp

3.1.2. Equipos

- Kjeldahl, marca: VelpScientifica, modelo: UDK126D
- Mufla, marca: BarnsteadThermolyne, modelo: FB1410M, rango de temperatura de 0 – 1100 °C
- Estufa, marca: Memmert, modelo: 200-800, rango de 30 –250 °C
- Balanza analítica, marca Ohaus, con sensibilidad de 0,0001 g.
- Bureta semiautomática
- Balanza eléctrica capacidad de 200 g
- Baño maríamarca PRECISDIG
- Centrifuga, marca LW SCIENTIFIC 8V
- Tinajas de decantación

3.1.3. Materiales y utensilios

- Termómetro con rango de medición 0°C hasta 100°C
- Vasos precipitados de 50, 100 y 250
- Placas Petri
- Pipetas graduadas de 2 y 5 y 10 ml
- Probetas volumétricas de 10, 50 y 100 mL
- Matraces Erlenmeyer de 150, 250 y 500 mL
- Fiolas de 50, 250 y 500 ml.
- Matraces de Kitasatode 1000 mL
- Baguetas, pinzas
- Crisoles de calcinación



- Desecador de muestras
- Balones de Kjeldahlde 100 mL
- Embudos de vidrio de vástago largo
- Embudo Buchner
- Tubos de ensayo de 5 y 10 mL
- Pendones cónicos de 15 mL (tubos para centrífuga)
- Recipientes de almacenamiento (tinajas)
- Ollas de acero inoxidable
- Jarra de 2 litros

3.1.4. Reactivos

- Ácido sulfúrico (H_2SO_4)
- Sulfato cúprico pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)
- Sulfato de potasio (K_2SO_4)
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Indicador fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$)
- Indicador rojo de metilo
- Solución de Ácido sulfúrico 0.1 N
- Solución Ácido clorhídrico 0.1 N
- Solución Hidróxido de sodio 0.1 N
- Etanol
- Agua destilada

3.2. Métodos de análisis

3.2.1. Determinación de humedad

Para determinar la humedad en cada unidad experimental de la investigación se utilizó el Método de la NTP 209.264, basada en la pérdida de peso que sufre la muestra por calentamiento hasta obtener peso constante.

La fórmula para el cálculo es:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m1 - m3}{m2 - m1} * 100$$

En la que:

m1: masa de la cápsula vacía y de su tapa, en gramos

m2: masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado, en gramos

m3: masa de la cápsula con tapa más la muestra desecada, en gramos

3.2.2. Análisis de las propiedades funcionales de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera.

La evaluación de las propiedades funcionales incluyó temperatura de gelatinización (TG), índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), poder de hinchamiento (PH); cada determinación fue realizada por triplicado.

a. Temperatura de gelatinización

Se aplicó la Técnica usada por (Grace, 1977), como los gránulos de almidón son insolubles en agua fría; cuando se calientan en solución a temperaturas altas alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia el hinchamiento de los gránulos. Esta temperatura es llamada temperatura de gelatinización.

La temperatura de gelatinización se leyó directamente en el termómetro

b. Índice de absorción de agua, Índice de solubilidad en agua y Poder de hinchamiento

Se determinó por el método usada (Anderson et al., 1969), se pesó tubos de centrifuga secos a 60 °C y en ellos se agregó 0,541 g de fécula (bs), se le adicióno exactamente 13 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y agitando (sin excederse), se colocó en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; se agito la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento, luego se centrifugo a temperatura ambiente a 3300 RPM durante 30 minutos, Decantamos el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y se midió el volumen, se tomó 10 mL del sobrenadante y se colocó en un vaso de precipitados de 50 mL (previamente pesado). Luego secamos el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C, Pesar el tubo de centrifuga con el gel, finalmente se pesó el vaso de precipitados con los insolubles.

Cálculos e interpretación de los resultados se ha procesado con los siguientes formulas.

$$\text{Indice de absorcion de agua (IAA)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{peso muestra (g)bs}}$$

$$\text{Indice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso solubles (g)}}{\text{peso muestra (g)bs}} \times 100$$

$$\text{Poderdehinchamiento (PH)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{peso de la muestra (g)bs} - \text{peso solubles (g)}}$$

3.3. Metodología experimental

3.3.1. Materia prima

Las muestras de papa de calidad tercera, utilizadas para la investigación fueron acopiadas en la planta de diferentes distritos de la provincia de Andahuaylas, las cuales fueron obtenidas bajo el criterio de muestreo al azar de cultivos realizados en la fecha cronológica de siembra.

3.3.2. Obtención de fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) de calidad tercera

Antes de realizar los procesos de investigación, se procedió a la obtención de fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) para cuantificar los análisis correspondientes, estos procesos se realizaron en la planta piloto procesadora de almidón de Andahuaylas.

A. Recepción y Pesado.

Al llegar la materia prima a la planta fueron recepcionadas por el asistente de aseguramiento de la calidad, bajo la supervisión del Jefe de Aseguramiento de la calidad los cuales verifican la calidad luego se pesa la materia prima: papa para ser almacenada

B. Almacenamiento de materia prima.

El material fue evaluado y pesado es ingresado al almacén de materia prima, previa identificación de lote, ubicado apilado sobre parihuelas siguiendo el sistema PEPS (lo primero que ingresa es lo primero que sale).

Para el proceso de producción se desplazó los lotes designados al patio de

preselección para su respectiva descarga.

El almacenamiento se realiza en las siguientes condiciones:

- Temperatura de almacenamiento: 18 °C
- Humedad de Almacenamiento: 40 %
- Tiempo de almacenamiento: 24 horas.

C. Selección y transporte.

En esta operación se realizó una separación manual por gravedad y separación de material sólido extraño, por lo general de piedras, acondicionando mejor para la siguiente operación de lavado de las papas.

Se desplazó el lote asignado al patio de preselección y se procede a descargar los sacos en la mesa abastecedora de la faja transportadora, manualmente se retira material extraño controlando el aprovisionamiento continuo de materia prima. En seguida, es recepcionada por una tolva que dosifica al despendedor que separa piedras de la papa y lo habilita para su ingreso a la lavadora.

D. Despedrado.

En esta operación se utilizó una maquina despendedor la cual cumple con la función de separar las piedras de las papas esta operación consiste en retirar las piedras de las papas, esta separación se realizó por diferencia de densidades mediante una bomba de agua, las piedras por tener mayor densidad caen al fondo del equipo, y las papas por tener menor densidad suelen flotar en la superficie por la presión del fluido, luego es descargado hacia el equipo de lavado.

E. Lavado.

Operación mecánica cizallamiento hace que las papas se froten continuamente hasta estas limpias, las papas caen en un flujo de agua hasta un transportador de canal inclinado. Aquí la suciedad y la tierra adherida son eliminadas haciendo necesario un ligero lavado posterior. Se necesitan alrededor de 5 partes de agua por 1 kg de tubérculo (preparación en peso) para el transporte por flujo.

El agua ingresa a altas presiones por una tubería de 1 pulg de diámetro, esta tubería tiene orificios de 1mm de diámetro por donde el agua sale a altas presiones, además el equipo de lavado está provisto por paletas diseñado en forma de un tornillo sin fin lo cual permite el lavado por fricción y al mismo tiempo realiza el transporte de las papas al chute de descarga. El agua sucia es eliminada por drenaje por las mallas metálicas.

F. Molienda.

El triturado se realizó con un molino súper raspador mediante una faja transportadora, donde es molido hasta la obtención de pulpa con ayuda de agua, raspa y rasga la papa en partículas muy finas, esto se logra mediante un tambor con uñas que gira a alta velocidad el cual permite la liberación de la fécula de la fibra también se adiciona 5ppm de bisulfito de sodio para evitar la oxidación, la pulpa es bombeada hacia el tanque pulmón.

G. Homogenizado.

La pulpa diluida fue almacenada por un tiempo de 15 minutos para obtener una mezcla homogénea de la pulpa, el mezclado se realizó con la electrobomba de tipo sumergible.

El almacenamiento también se realiza con fines de alimentación constante a los equipos posteriores.

H. Extracción.

Mediante Hidrociclones se separó la fibra de la fécula a una presión de 4bar, en función a su peso específico por contracorriente, lava la fécula de los componentes solubles de la papa (azucars, proteína etc.) y concentrarla.

I. Tamizado.

La lechada pasó por medio de dos mallas finas con medidas de 200 micras cada una, separa la fibra de la fécula y la lechada filtrada es bombeada hacia el tanque pulmón N° 2.

J. Concentrado.

Se realizó la agitación del líquido para mantener la fluidez en el momento de salida del tanque y así evitar obstrucciones en las tuberías, en este tanque también se almaceno la lechada por un tiempo de 15 minutos con fines de una alimentación constante a las tinas de decantación.

K. Decantado.

El líquido lechoso proveniente del tanque de almacenamiento fue llenado en la decantadora y se dejó reposar por 40 – 45 min, por diferencia de densidades la fécula se sedimenta en el fondo de la tina de decantado y el agua queda en la superficie.

L. Centrifugado.

La fécula ingresa a la centrifuga con una humedad inicial promedio de 60%, donde se eliminó el 20% agua aproximadamente por un tiempo de 10 min, y 120rpm, la fécula fue retirado con un 40% de humedad aproximadamente.

Aquí se extrae el agua de la pasta en dos etapas: por efecto físico (centrifuga) y por temperatura (secador súper flash). Con la finalidad de acondicionar mejor al producto.

M. Secado.

En esta operación se estudió 2 variables como la carga de alimentación y temperatura de ingreso de aire caliente al secador, el almidón húmedo con 40% de humedad aproximadamente, es secado a una temperatura adecuada, donde la fécula es dispersado en una corriente de aire caliente por un ventilador tipo extractor, que moviliza la fécula disperso en aire dentro de los tubos.

N. Tamizado (refinado).

En este proceso con el tamizador se separó los gránulos de fécula para impedir que material extraño entre a la bolsa de la fécula, al mismo tiempo enfriar y transportar la fécula a la embolsadora, fécula enfriado pasa por un tamiz

de 200 micras, el cual retiene las posibles impurezas y féculas aglomerados que serán dispersados uniformemente para la obtención de la fécula finamente refinado.

O. Envasado.

Se envasó en envases de 110g, 230g y 25kg y cosido con una cosedora eléctrica luego se transporta al almacén.

P. Almacenado.

La fécula envasado fue almacenada a una temperatura de 20°C y humedad relativa del 65%, estos parámetros se deben cumplir obligatoriamente para mantener la calidad e inocuidad del producto.

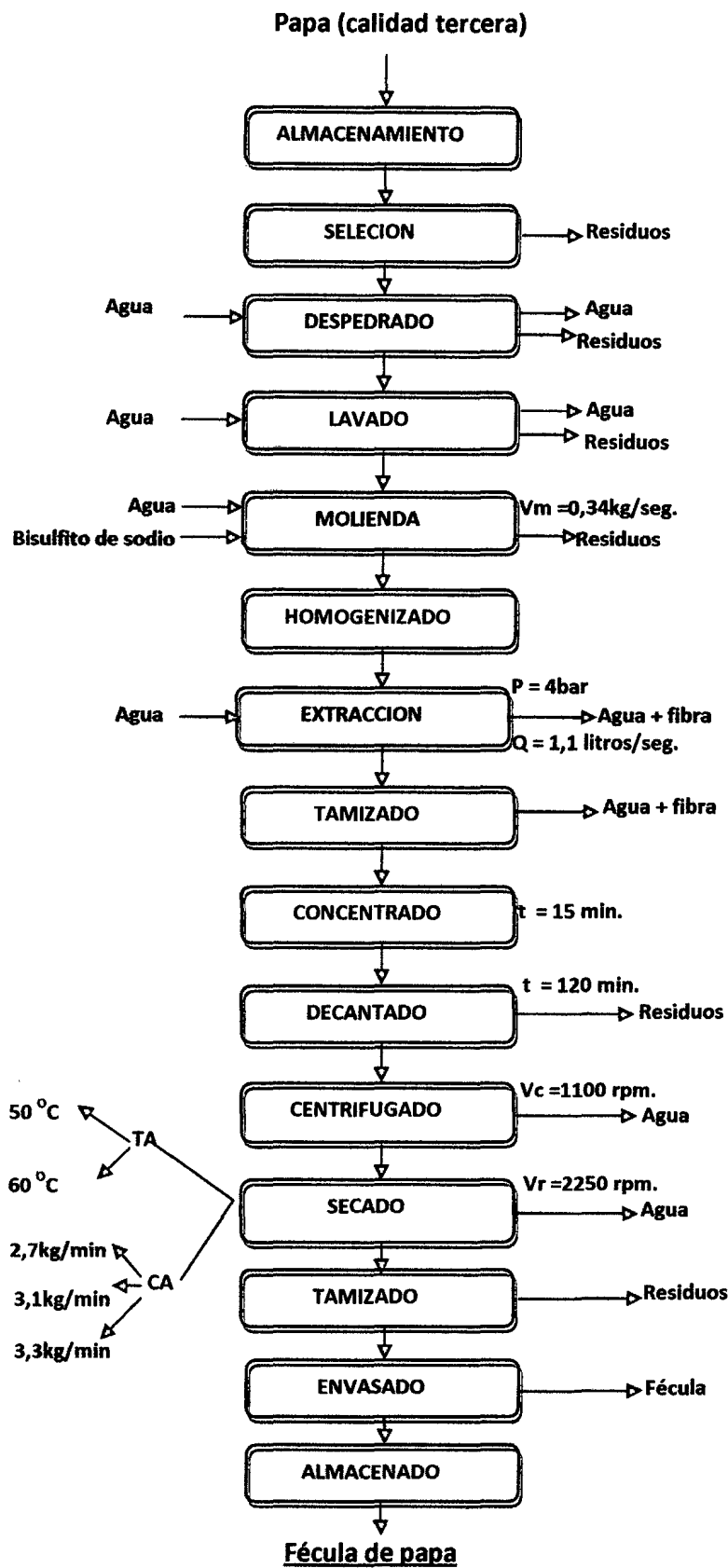


Figura 10: Diagrama de bloques para la obtención de fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Leyenda:

- TA: temperatura del aire caliente (°C)
- CA: carga de alimentación (kg/min)
- Vc: velocidad de centrifugado (rpm.)
- Vr: velocidad de rotación del ventilador en el secado (rpm.)
- Vm: velocidad de molienda de papa (kg/seg)
- t: tiempo (min.)
- P: presión (bar.)

3.3.3. Optimización de parámetros

Una de las técnicas más eficientes para la optimización de procesos es La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), la cual tiene como objetivo principal determinar las condiciones de operación óptima para un sistema, o determinar la región del espacio de los factores en la que se satisfacen las condiciones de operación (Dreyer, Coello y Montiel, 2000).

En la mayoría de los casos la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes se desconoce. Por ello, el primer paso en la MSR consiste en determinar una aproximación apropiada a la relación funcional real entre la respuesta y el conjunto de variables independientes, guiando al experimentador rápida y eficientemente a la cercanía del punto óptimo; hasta finalmente localizarlo Montgomery, (1986); citado por (Dreyer, Coello y Montiel, 2000).

En la determinación de los parámetros óptimos, el objetivo es encontrar al menos 2 puntos por cada factor en la que se ha obtenido valores de humedad,

para lo cual se ha utilizado un Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR) para la optimización.

La ventaja de este diseño es la evaluación de los efectos individuales y los efectos combinados en la variable de respuesta, las réplicas en los puntos centrales de diseño permite evitar la linealidad, puesto que en los diseños factoriales no se cumple tal linealidad perfecta (Blanes *et al.*, 2006; Mildeet *al.*, 2009). La ecuación del DCCR es como sigue:

$$N = 2^p + 2p + C.$$

Un diseño compuesto central consiste en:

- Parte factorial: un diseño factorial 2^p , completo o fraccional, en el que los niveles están en forma codificada (± 1) o en forma natural (tomando el nivel mínimo y máximo del factor).
- $C (\geq 1)$ puntos centrales, en este caso con 2 puntos centrales
- Parte axial: dos puntos axiales en los ejes correspondientes a cada uno de los factores, situados a una distancia $\alpha = \pm (2^p)^{1/4}$ del centro del diseño, el cual es importante para asegurar la rotabilidad del diseño.

(Fernández y Piñeiro, 2002).

La optimización por el diseño central compuesto permite la obtención de un modelo matemático empírico que explica el fenómeno, dicho modelo depende de los valores estadístico que demuestren la linealidad o la curvatura, por lo que los modelos para cada caso se da a continuación:

Un modelo de primer orden (Lineal) sin interacciones o productos cruzados:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \varepsilon$$

El modelo lineal de primer orden con interacciones:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \sum_{j=2}^p \sum_{i=1}^{j-1} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Y el modelo cuadrático o de segundo orden:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \sum_{j=2}^p \sum_{i=1}^{j-1} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^p \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon$$

Donde ε representa el ruido o error observado en la respuesta Y.

Esta ecuación explica en gran medida el fenómeno que ocurre, se incorpora un parámetro de curvatura e interacciones entre las variables, por lo que la predicción es más cercano al dato real (Muñoz, Camargo y Gallego, 2008).

3.3.4. Análisis fisicoquímico proximal de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera.

La determinación de los componentes y rendimiento, se realizaron a la fécula obtenida con los mejores parámetros de obtención en base a las normas AOAC 1998 16th edition 4th revisión (Asociación de análisis químico), en algunos casos se han realizado algunas modificaciones según lo requerido. En las cuales se mencionan los procedimientos a seguir según el componente a ser determinado.

A. Determinación de proteínas

La metodología empleada fue el método indirecto, El cual consiste en la destrucción orgánica por acción del ácido sulfúrico, obteniéndose como resultado sulfato de amonio, el cual después es destilado a amoniaco. Los cálculos se realizan en base a un patrón (muestra en blanco) y se cuantifica la diferencia gastada de titulante en la muestra (Referencia método AOAC. 960.52- Micro-Kjeldahl). La fórmula utilizada es:

$$\%P = \frac{(Gb - G) * N * 0,014 * f * 100}{m}$$

Donde: Gb: Gasto en la muestra en blanco

G: Gasto en la muestra analizada

f: Factor de conversión (6.25)

N: Normalidad del hidróxido de titulación

B. Determinación de Grasa

Método de la AOAC. 945.16, Extracción de la grasa con un solvente orgánico (Éter de petróleo) en un equipo Soxhlet.

$$\%G = \frac{100 * (P1 - P2)}{P}$$

En la que:

P1 = peso en gramos del matraz con el extracto etéreo.

P2 = peso en gramos del matraz vacío.

P = peso en gramos de la muestra empleada.

C. Determinación de ceniza

Método de la AOAC 923.03, incineración de la muestra a 600 °C para quemar todo el material orgánico, al material inorgánico no destruido se le llama ceniza.

$$\%C = \frac{100 * (P1 - P2)}{P}$$

En la que:

P = peso en g de la cápsula con la muestra.

P1 = peso en g de la cápsula con las cenizas.

P2 = peso en g de la cápsula vacía.

D. Determinación de fibra

Se aplicó el método de la AOAC. 962.09, consistente en la determinación del remanente luego de la eliminación de los carbohidratos solubles por hidrólisis a compuestos más simples (azúcares) mediante la acción de los ácidos y álcalis débiles en caliente.

$$\%F = \frac{100 * (P1 - P2)}{P}$$

Siendo:

P= Peso inicial de la muestra.

P1 = Peso del crisol conteniendo la muestra desecada.

P2 = Peso del crisol conteniendo la muestra calcinada.



E. Determinación de Carbohidratos

La determinación de carbohidratos fue obtenida por diferencia entre los demás componentes mediante la siguiente fórmula:

Carboh.=100-(Proteína + Grasa +Ceniza +Fibra +Agua), Todos los componentes expresados en %.

F. Rendimiento

El rendimiento se calculó con la siguiente formula

$$R = \frac{Pf}{Pi} * 100$$

Donde:

R = Rendimiento

Pf = Peso final de la fécula obtenida (kg)

Pi = Peso inicial de papa calidad tercera (kg)

3.4. Análisis estadístico

3.4.1. Factores en Estudio

En la presente investigación se consideraron dos factores en estudio:

Factor A: Temperaturas de aire caliente suministrado al secador

Factor B: Cargas de alimentación al secador

Tabla 6: Número de factores en estudio

<i>Factores</i>		<i>Simbología</i>	
FA	Temperatura del aire caliente	TA1	50 °C
		TA2	60 °C
FB	Carga de alimentación	CA1	2,7 kg/min
		CA2	3,1 kg/min
		CA3	3,3 kg/min

3.4.2. Tratamientos

Los tratamientos para el secado de fécula resultan de la combinación de dos niveles de reemplazo de temperatura del aire caliente, y tres niveles de carga de alimentación al secador.

Tabla 7: Evaluación de número de tratamiento en estudio

<i>Nro.</i>	<i>Tratamientos</i>	<i>Temperatura de aire caliente suministrado al secador (°C)</i>	<i>Carga de alimentación al secador (kg/min)</i>
T1	A1B1	50	2,7
T2	A1B2	50	3,1
T3	A1B3	50	3,3
T4	A2B1	60	2,7
T5	A2B2	60	3,1
T6	A2B3	60	3,3

3.4.3. Diseño Experimental

En la presente investigación se utilizó un diseño factorial A x B, donde A Temperaturas de aire caliente suministrado al secador, y B Cargas de alimentación al secador, para la optimización se ha usado la metodología de Superficie de Respuestas (MSR), bajo el Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR).

3.4.4. Características del Experimento

- Factorial

Repeticiones: 3

Tratamientos: 6

Unidades Experimentales: 18

- MSR

Repeticiones: 3

Tratamientos: 9

Unidades Experimentales: 27

3.4.5. Procesamiento de resultados

Se empleó una prueba de Tukey al 5% para tratamientos, se evaluó estadísticamente los resultados obtenidos. Asimismo, se efectuó análisis de varianza ANOVA, con un nivel de confianza del 95% para determinar si existen diferencias significativas entre los distintos factores.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Evaluación de los efectos de los tratamientos

4.1.1. efecto de los tratamientos en la humedad de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera.

Los factores de estudio (temperatura del aire caliente y la carga de alimentación), influye significativamente a la variación en el contenido de humedad, puesto que a temperaturas superiores a 60°C se reduce la humedad, sin embargo temperaturas inferiores a 50 °C aumenta la humedad lo cual podrían ser perjudiciales ya que se genera hongos por alto contenido de agua, ocasionando la pérdida de calidad sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, hace que no sea apto para consumo humano.

Tabla 8: Análisis de la varianza de contenido de humedad

<i>Origen</i>	<i>Suma de cuadrados tipo III</i>	<i>Gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Modelo corregido</i>	211,497 ^a	5	42,299	243,251	0,000
<i>Intersección</i>	8016,409	1	8016,409	46100,066	0,000
<i>Temperatura</i>	33,388	1	33,388	192,004	0,000
<i>Carga</i>	176,613	2	88,307	507,826	0,000
<i>temperatura * carga</i>	1,496	2	0,748	4,301	0,039
<i>Error</i>	2,087	12	0,174		
<i>Total</i>	8229,993	18			
<i>Total corregida</i>	213,583	17			

a. R cuadrado =0,99 (R cuadrado corregida = 0,986)

A la Tabla 8 se hizo una interpretación minucioso para su mejor entendimiento en las siguientes evaluaciones de las variables de respuesta, para confirmar la diferencia significativa existente frente a la variable de estudio Humedad, en resumen esta Tabla contiene información de las fuentes de

variación, las sumas de cuadrados, los grados de libertad (gl), las medias cuadráticas, los estadísticos F y los niveles críticos ($Sig.$) asociados a cada estadístico F . toda esa información está referida a los tres efectos presentes en un modelo de dos factores las cuales son temperatura y carga.

La fila *Modelo corregido* se refiere a todos los efectos del modelo tomados juntos (el efecto de los dos factores, el de la interacción y el de la constante o intersección). El nivel crítico asociado al estadístico F ($p = 0,000 < 0,05$) nos está diciendo que el modelo explica una parte significativa de la variación observada en la variable dependiente (*humedad*). El valor de R^2 (0,99), que se obtiene dividiendo la suma de cuadrados del *Modelo corregido* entre la suma de cuadrados *Total corregida*, indica que los tres efectos incluidos en el modelo (*temperatura, carga y temperatura * carga*) están explicando el 99 % de la varianza de la variable dependiente *humedad*.

La fila *Intersección* informa sobre la constante del modelo. Esta constante forma parte del modelo y es necesaria para obtener las estimaciones de las medias de cada casilla. Además, permite contrastar, en el caso de que esto tenga sentido, la hipótesis de que la media total de la variable dependiente vale cero en la población.

Las dos filas siguientes recogen los efectos principales, es decir, los efectos individuales de los dos factores incluidos en el modelo: *temperatura* y *carga*. Los niveles críticos ($Sig.$) indican que, mientras los grupos definidos por la variable *temperatura* y *carga* poseen humedades medios significativamente diferentes ($Sig. = 0,000 < 0,05$).

La siguiente fila contiene información sobre el efecto de la interacción entre *temperatura* y *carga*. El estadístico F correspondiente a este efecto lleva asociado un nivel crítico de 0,039; lo cual indica que la interacción *temperatura * carga* posee un efecto significativo sobre el *humedad*. Sólo con este dato, ya podemos anticipar que las diferencias de las humedades que se dan entre las distintas categorías no son las mismas en los dos grupos étnicos considerados.

La fila *Error* ofrece información relacionada con la fuente de variación *error* o *residual*. La media cuadrática *error* (que vale 0,174 y que es el divisor en cada cociente F), es un estimador insesgado de la varianza de los 6 tratamientos estudiados (que suponemos igual en todas ellas).

La penúltima fila (*Total*) muestra la suma de los cuadrados de las puntuaciones de la variable dependiente (información ésta que, de momento, carece de utilidad); sus grados de libertad son el número total de casos utilizados en el análisis.

Y la última fila (*Total corregido*) recoge la variación total: la variación debida a cada efecto más la variación error.

Ya que existe una diferencia significativa al 5% del contenido de humedad en la fécula en los tratamientos, factores, e interacción, por lo cual se procedió a realizar las pruebas de significancia al 5%, Tukey para los tratamientos.

Tabla 9: Prueba de Tukey para tratamientos en contenido de humedad

	N° de tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0,05			
			1	2	3	4
HSD de Tukey ^a	4	3	16,407			
	1	3		18,389		
	5	3		19,452		
	2	3			22,254	
	6	3			23,365	
	3	3				26,752
	Sig.		1,000	0,074	0,059	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

La Tabla 9 muestra un resumen (basado en el procedimiento de Tukey) del resultado obtenido con las comparaciones múltiples. En este resumen, los grupos cuyas medias no difieren entre sí están agrupados en el mismo subconjunto y los grupos cuyas medias difieren forman parte de subconjuntos diferentes. Por ende, vemos que existe un primer subconjunto de grupos homogéneos formado por el grupo de *tratamiento 4*, un segundo subconjunto formado por el grupo de *tratamientos 1 y 5*, un tercer subconjunto formado por el grupo de *tratamiento 2 y 6*; y en el cuarto subconjunto formado por el grupo de *tratamiento 3*. Siendo el tratamiento 4 (60 °C y 2,7 kg/min) el que ocupa el primer lugar en su rango. Se observó que el tratamiento presentó el menor % de humedad.



Tabla 10: Análisis de componentes de varianza para humedad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Comp. Var.</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>TOTAL (CORREGIDO)</i>	208,455	17			
<i>Temperatura</i>	30,8278	2	10,279	3,382	20,54
<i>Carga</i>	176,097	3	88,048	12,962	78,69
<i>ERROR</i>	1,53069	12	0,127	0,127	0,77

En la Tabla 10, aquí normalmente es comparar la cantidad de variabilidad con la que contribuye cada uno de los factores, llamados los componentes de varianza. En este caso, el factor que más contribuye a la varianza es carga. Su contribución representa de 78,69% de la variación total en humedad, esta comparación se realizó para ver cuál de los factores contribuyo a la variabilidad de la humedad en la fécula ya que existe diferencia significativa en los tratamientos al 95% de confiabilidad.

Tabla 11: Efecto de los tratamientos en la humedad de la fécula

<i>Variable dependiente</i>	<i>Tratamientos</i>	<i>Medias (%)</i>
<i>Humedad de la fécula (%)</i>	T1	18,389
	T2	22,255
	T3	26,752
	T4	16,407
	T5	19,452
	T6	23,365

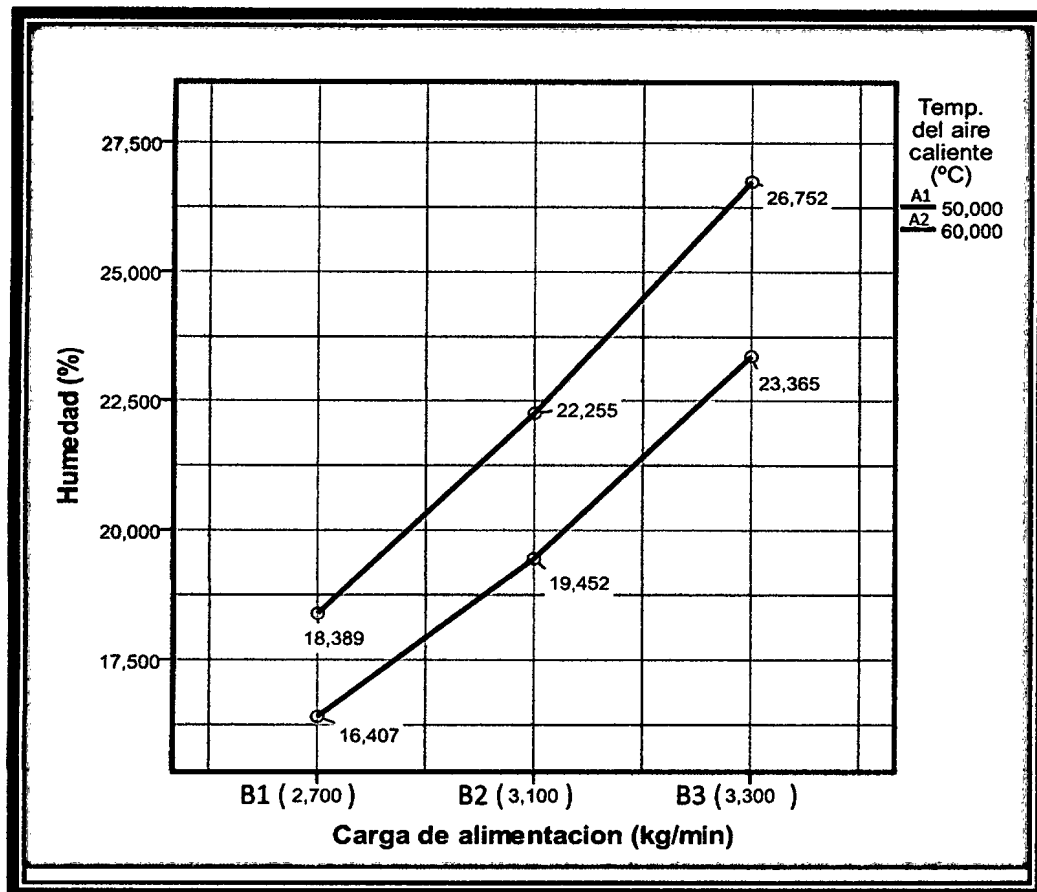


Figura 11: Variación de humedad (%) (Evaluadas a temperaturas= 50°C y 60°C, cargas de alimentación = 2,7kg/min; 3,1kg/min y 3,3kg/min)

Según la gráfica 2, la humedad de la fécula de papa se ve incrementada en mayor porcentaje, secado con aire caliente a temperatura de 50 °C y a cargas de alimentación de 3,3 kg/min, por otro lado el menor porcentaje de humedad presenta el de 60 °C y 2,7 kg/min, sin embargo es de suma importancia que la humedad de la fécula de papa este en un rango de 18% a 20 % para conservar su calidad comercial (Crosbie, 1991). Por tal motivo, se evaluó las temperaturas y cargas óptimas que nos permita obtener en la fécula ese rango de humedad, dichos valores fueron 50 °C con cargas de alimentación de 2,7 kg/min y 60°C con cargas de alimentación de 3,1 kg/min.

4.1.2. Efecto de los tratamientos en el índice de absorción de agua (IAA) de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera.

A temperaturas de 40 - 50°C no se hidratan cercanas a los 70°C estos almidones se hidratan rápidamente como consecuencia de la ruptura de los enlaces de hidrógeno en las regiones amorfas, a lo que le sigue una irreversible y progresiva absorción de agua (Torre *et al.*, 2008). Esta propiedad de retener agua es deseable, ya que indica la capacidad del polímero para interactuar con el agua de solvatación y es una medida indirecta de las características físicas (consistencia) de la dispersión formada (Crosbie, 1991).

Tabla 12: Análisis de la varianza de índice de absorción de agua (IAA)

<i>Origen</i>	<i>Suma de cuadrados tipo III</i>	<i>Gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Modelo corregido</i>	1,592 ^a	5	0,318	0,971	0,473
<i>Intersección</i>	895,847	1	895,847	2731,877	0,000
<i>Temperatura</i>	,224	1	0,224	0,684	0,424
<i>Carga</i>	1,277	2	0,638	1,946	0,185
<i>temperatura * carga</i>	,091	2	0,046	0,139	0,872
<i>Error</i>	3,935	12	0,328		
<i>Total</i>	901,374	18			
<i>Total corregida</i>	5,527	17			

a. R cuadrado = 0,288 (R cuadrado corregida = -0,009)

En la tabla 12 se descompone la variabilidad de IAA en contribuciones debidas a dos factores, la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos del otro factor, el Sig. Prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que los factores no tienen un efecto estadísticamente significativo sobre IAA con un 95,0% de nivel de confianza por consiguiente los tratamientos estudiados no afectan considerablemente al IAA.



Tabla 13: Efecto de los tratamientos en el índice de absorción de agua (IAA)

<i>Variable dependiente</i>	<i>Tratamientos</i>	<i>Medias (gH₂O/g fécula)</i>
<i>Índice de absorción de agua (gH₂O/g fécula)</i>	T1	6,698
	T2	7,320
	T3	7,481
	T4	6,672
	T5	7,036
	T6	7,122

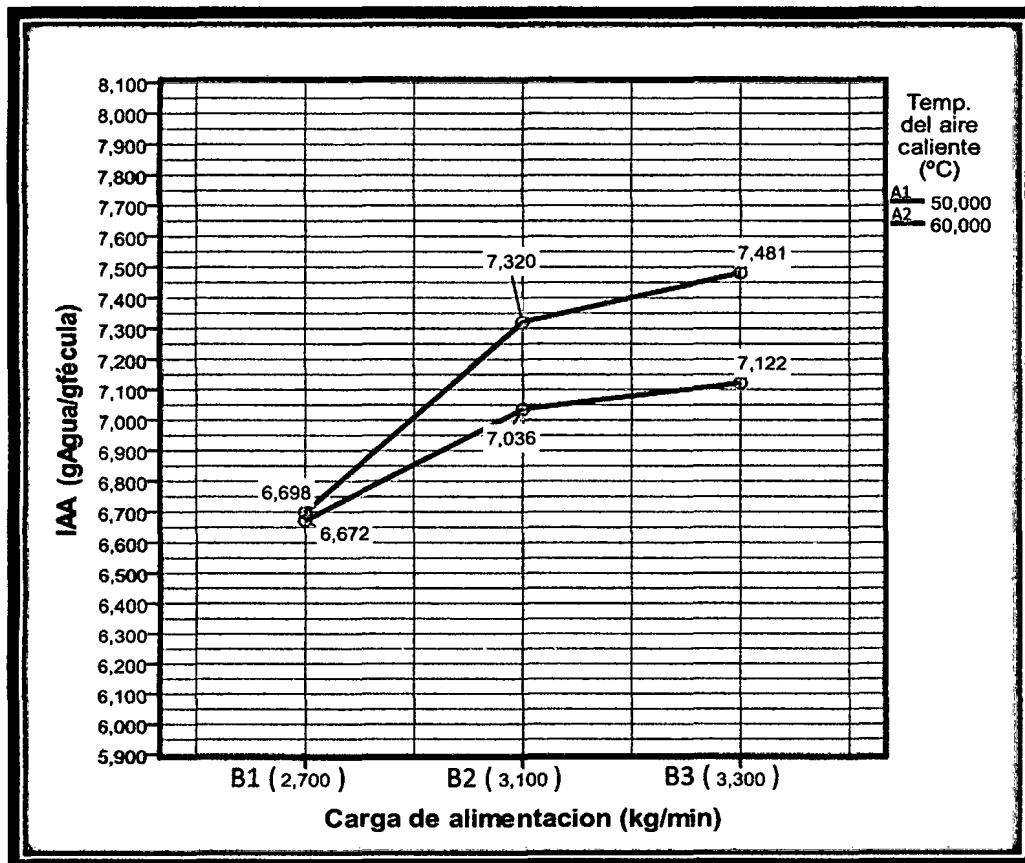


Figura 12: Variación Índice de absorción de agua (Evaluadas a temperaturas= 50°C y 60°C, cargas de alimentación = 2,7kg/min; 3,1kg/min y 3,3kg/min)

Según la gráfica 3, la diferencia del índice de absorción de agua de la fécula de papa estadísticamente no tiene una variación significativa pero requiere hacer un análisis minucioso en la variación insignificativa.

De la figura se puede apreciar que la fécula tratado con 50 °C a diferentes cargas tiene mayor índice de absorción, mientras que con 60 °C es menor, esto porque a mayor temperatura de secado hay un mínimo porcentaje de hinchamiento de los gránulos donde absorbe agua, en consecuencia se reduce su capacidad de absorción y aumenta la solubilidad, por tal motivo la temperatura de secado no debe ser muy alto porque afecta a la propiedad funcional de la fécula en nuestro caso no es considerablemente es mínima.

4.1.3. Efecto de los factores en el índice de solubilidad en agua (ISA) de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera.

Investigadores plantearon la posibilidad de que las ramificaciones laterales (amilopectina) de las moléculas del almidón y un menor tamaño del gránulo, facilitan la entrada del agua a los espacios intermoleculares, aumentando la solubilidad de los polímeros, siendo la amilopectina la de mayor proporción de disolución. Esto desde luego, incide en el aumento de solubilidad de las moléculas en el agua y en la estabilidad de la viscosidad (Hwang y Kokini, 1992).

Un menor tamaño de los gránulos, presentan una mayor solubilidad en agua. En esta propiedad se refleja también la influencia del contenido de lípidos en el almidón; un almidón con menor contenido de lípidos será más soluble que aquel cuyo contenido es mayor debido a que los lípidos son insolubles en agua y

tienden a evitar la interacción entre las moléculas del almidón con el agua y como consecuencia, a evitar o disminuir su solubilidad (Yuan *et al.*, (2007).

Tabla 14: Análisis de la varianza de índice de solubilidad en agua (ISA)

<i>Origen</i>	<i>Suma de cuadrados tipo III</i>	<i>Gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Modelo corregido</i>	4,622 ^a	5	0,924	1,495	0,263
<i>Intersección</i>	349,672	1	349,672	565,483	0,000
<i>Temperatura</i>	3,044	1	3,044	4,923	0,047
<i>Carga</i>	1,079	2	0,539	0,872	0,443
<i>temperatura * carga</i>	0,499	2	0,249	0,403	0,677
<i>Error</i>	7,420	12	0,618		
<i>Total</i>	361,714	18			
<i>Total corregida</i>	12,042	17			

a. R cuadrado = 0,384 (R cuadrado corregida = 0,127)

En el análisis de la varianza (Tabla 14) se observa que no existe diferencia significativa al 5% en el índice de solubilidad en agua en tratamientos, factores e interacción, por lo que no es necesario realizar las pruebas significativas al 5%, Tukey

Tabla 15: Efecto de los tratamientos en el índice de solubilidad en agua (ISA) de la fécula.

<i>Variable dependiente</i>	<i>Tratamientos</i>	<i>Medias (%)</i>
<i>Índice de solubilidad agua (%)</i>	T1	4,705
	T2	4,579
	T3	4,372
	T4	4,099
	T5	4,100
	T6	3,790

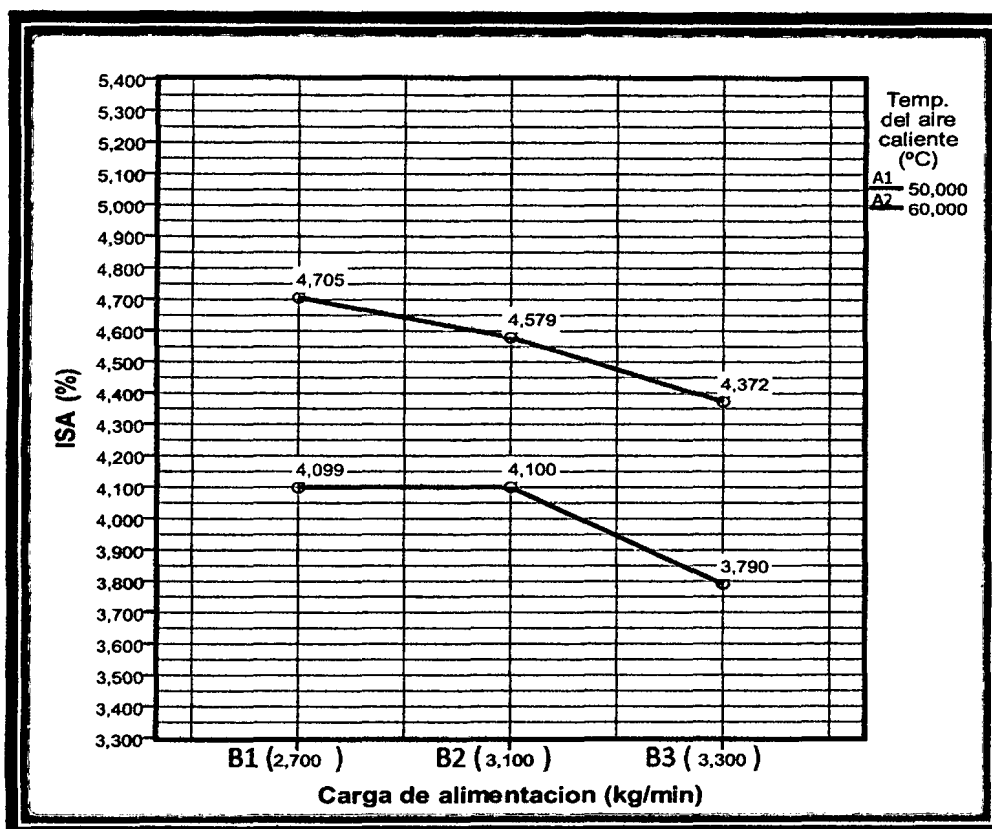


Figura 13: Variación del Índice de solubilidad de agua (Evaluadas a temperaturas= 50°C y 60°C, cargas de alimentación = 2,7kg/min; 3,1kg/min y 3,3kg/min).

De la figura 13 se puede apreciar que el efecto de los tratamientos no influye significativamente, se puede notar que hay una mínima variación de las medias de los resultados obtenidos. Esta variación baja puede ser debido a que los índices de temperatura en los tratamientos son bajos.

El almidón que ha sufrido aumento de masa o hinchamiento por la interacción del calor sometido en la operación unitaria de secado la solubilidad en agua puede ser menor, pero el factor principal que influye es el tamaño del granulo (Ferrero, 1993).

4.1.4. Efecto de los factores en el poder de hinchamiento (PH) de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera.

En el análisis de poder de hinchamiento se realizó mediante la intervención de la temperatura en donde se observó que incrementó en volumen y peso, el almidón sufre este proceso cuando se le permite hincharse libremente en agua y depende de la fuerza y naturaleza de las fuerzas asociadas dentro de la red del gránulo de almidón. Los factores que afectan las fuerzas asociativas incluyen: (i) la proporción de amilosa: amilopectina, (ii) peso molecular de las fracciones, (iii) grado de ramificación, (iv) conformación, y (v) la longitud de las ramas exteriores de la amilopectina. Los almidones se dividen en tres grupos, acorde al nivel de asociación. Los almidones de cereales tienen el más alto grado de asociación y el más bajo poder de hinchamiento, seguido por los almidones de raíces y tubérculos (Asaoka, 1992). Para determinar si existe algún efecto de los tratamientos en el poder de hinchamiento de la fécula se realizó el análisis de varianza la cual se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 16: Análisis de la varianza de Poder de hinchamiento (PH)

<i>Origen</i>	<i>Suma de cuadrados tipo III</i>	<i>Gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Modelo corregido</i>	2,602 ^a	5	0,520	1,036	0,440
<i>Intersección</i>	938,977	1	938,977	1870,268	0,000
<i>Temperatura</i>	0,384	1	0,384	0,765	0,399
<i>Carga</i>	1,429	2	0,715	1,423	0,279
<i>temperatura * carga</i>	0,789	2	0,394	0,786	0,478
<i>Error</i>	6,025	12	0,502		
<i>Total</i>	947,603	18			
<i>Total corregida</i>	8,626	17			

R cuadrado = 0,302 (R cuadrado corregida = 0,011)



En el análisis de la varianza (Tabla 16) se observa que no existe diferencia significativa al 5% en tratamientos y factores, por lo cual no se procederá a realizar las pruebas de significancia al 5%, Tukey para tratamientos.

Tabla 17: Efecto de los tratamientos en el Poder de hinchamiento (PH) de la fécula.

<i>Variable dependiente</i>	<i>Tratamientos</i>	<i>Medias</i>
<i>Poder de hinchamiento</i>	T1	6,919
	T2	7,636
	T3	7,718
	T4	6,957
	T5	7,340
	T6	7,499

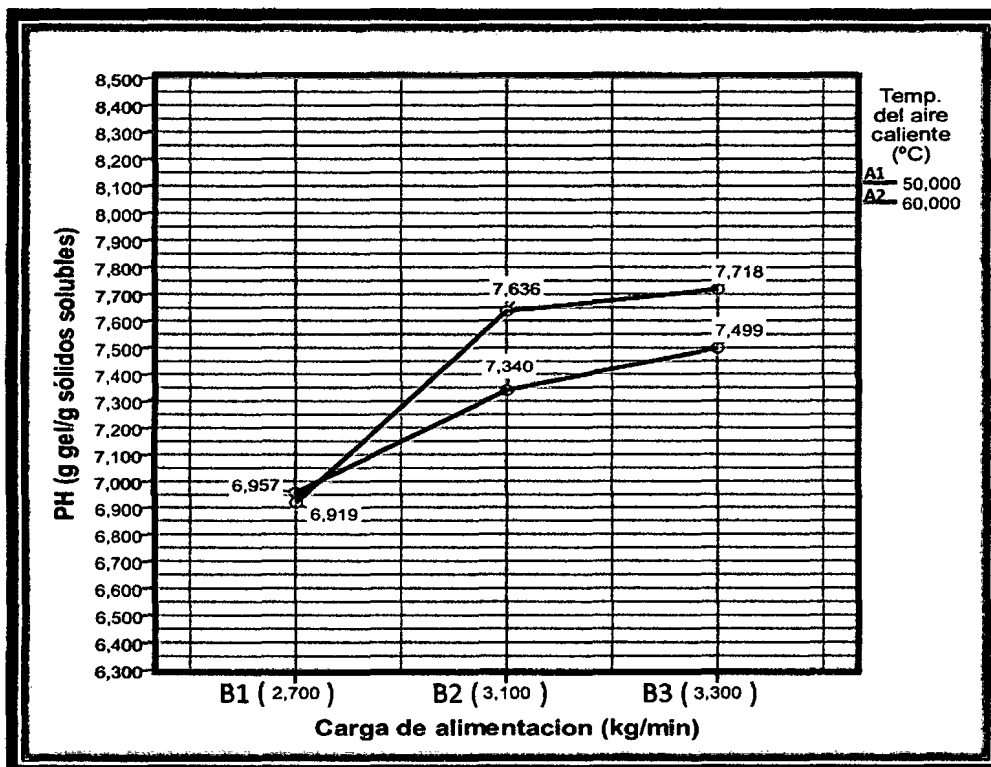


Figura 14: Variación de Poder de hinchamiento (Evaluadas a temperaturas = 50°C y 60°C, cargas de alimentación = 2,7kg/min; 3,1kg/min y 3,3kg/min)

En el figura 14 se pudo observar que no hay una diferencia significativa en el efecto de los tratamientos frente al poder de hinchamiento, esto debido a que la variación del poder de hinchamiento no depende exactamente de la temperatura de secado sino de otros factores, pero existe la posibilidad de que la fécula es secado bruscamente o temperatura muy alta se vería afectada las propiedades funcionales de la fécula en especial el poder de hinchamiento, ya que en la presente investigación los índices de temperatura de de secado están en el rango de secado a diferencia de la carga de alimentación lo cual depende de este factor la variación de la temperatura.

4.1.5. Efecto de los tratamientos en la temperatura de gelatinización de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera.

La temperatura de gelatinización fue de 62 °C, los tratamientos no producen ningún efecto a esta variable de respuesta , ya que la presencia de los grupos fosfato en las moléculas de almidón son los responsables de gelatinización a bajas temperaturas de los almidones de raíces y tubérculos como la papa, por lo que los almidones de estas fuentes presentan un pronunciado incremento en la viscosidad durante su calentamiento en comparación con los almidones de cereales (Whistler, 1984; Beynum y Roels, 1985; Moorthy, 2002.)

Por otro lado, una mayor temperatura de gelatinización en almidones, refleja una mayor estabilidad interna del gránulo de almidón, normalmente asociada a una mayor presencia de zonas semi cristalinas y a un mayor contenido de amilosa (Imberty et al., 1988); además, se reportó que la temperatura de gelatinización en raíces y tubérculos es menor que en cereales porque el gránulo de almidón absorbe rápidamente agua debido al debilitamiento entre las fuerzas

de atracción de las moléculas (amilosa/amilopectina), fenómeno asociado a una menor presencia de amilosa y a una mayor presencia de regiones cristalinas dentro del gránulo que requieren menos temperatura de calentamiento.

Por lo tanto de los resultados obtenidos y fuentes revisados se puede deducir que entre los factores que determinan el proceso de gelatinización de los gránulos destacan la relación y el contenido de amilosa y amilopectina, su grado de polimerización, así como el tamaño del gránulo de almidón o fécula y el contenido de fósforo y el proceso de sacado no afecta a esta propiedad.

4.2. Optimización de los parámetros de secado.

Para la optimización se tomó la variable Humedad ya que resultó altamente significativa en el análisis de varianza al 95% de confiabilidad, la optimización de ensayos los autores Box y Wilson (1951) han propuesto diseños rotatables de dos o más factores o dimensiones, óptimamente pensado para una experimentación secuencial. La racionalidad de la propuesta deriva, en primer término la posibilidad de hacer los ensayos sin arruinar presumiblemente, materia prima o producto final por riesgo de incurrir en combinaciones paramétricas peligrosas. Esto se entiende si pensamos que el diseño rotable tiene entre sí lo suficiente cerca de las condiciones de operación poco riesgosas como para dar cierta seguridad al diseñador.

La optimización consta de tres etapas, los cuales comprende el Screening (eliminación de las variables poco significativas), escalamiento (consistente en el acercamiento hacia la región óptima) y finalmente la optimización final (obtención de la región óptima y los puntos óptimos), (Ayala y Pardo, 1995). En la etapa de screening se ha encontrado que los factores con mayor incidencia

fueron TA (50 y 60°C) y CA (2,7; 3,0; 3,3 kg/min) los cuales fueron optimizados en esta etapa. La siguiente tabla 18 muestra los parámetros y los niveles seleccionados para el estudio de optimización.

Los niveles de factores codificados me proporciono un marco de trabajo uniforme para investigar los efectos de los factores como temperatura del aire caliente suministrado al secador (TA) y carga de alimentación (CA), ya que los valores reales de los niveles dependen de los factores específicos en el estudio. Por ende estos niveles codificados como $(-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha)$ se utilizó para simplificar los cálculos. Una de las formas más adecuadas para pasar a la escala decodificada (matriz de diseño X_j) a la escala natural o real Z_j , es utilizando las siguientes formulas o ecuaciones.

$$Z_j^o = \frac{Z_j^{max} + Z_j^{min}}{2} \dots\dots\dots 1$$

Donde:

Z_j^o : Centro de diseño

Z_j^{max} : Escala natural o real máximo

Z_j^{min} : Escala natural o real mínimo

Can la ecuación 01 se calculó el centro de diseño de los factores TA = 55 y CA = 3.0

Las observaciones réplica en el centro del diseño no sólo proporcionan una estimación del error experimental, también proporcionan un mecanismo para medir el grado de curvatura en la región experimental.

$$\Delta Z_j = \frac{Z_j^{max} + Z_j^{min}}{2} \dots\dots\dots 02$$



El cual:

ΔZ_j = radio del diseño

$$Z_j = Z_j^o + \left(\frac{X_j}{\alpha} \Delta Z_j \right) \dots\dots\dots 03$$

Donde:

α = Punto axial

X_j = Nivel codificado

Con la ecuación 02 se calcula el radio del diseño experimental y la 03 es la ecuación codificada lo cual toma (-1) y (+1) respectivamente.

Finalmente en el diseño central compuesto (CCD) se puede hacer rotatorio estableciendo los valores de los puntos axiales como:

$$\alpha = (\text{Numero de corridas del factorial})^{\frac{1}{4}} = (2^p)^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots 04$$

Donde:

α = nivel codificado (X_j)

En esta investigación se está trabajando con un diseño de dos factores tales como TA y CA entonces al aplicar la ecuación 04 se tiene.

$\alpha = (2^2)^{\frac{1}{4}} = \sqrt{2} = 1,414$ Se toma este valor tanto para máximo (+) y mínimo (-), en resumen se puede apreciar en la tabla 18 los valores evaluados.

Tabla 18: Valores que fueron evaluados en la optimización mediante superficie de respuestas, bajo un diseño central compuesto rotatable.

Facto Res	Variables naturales					Variables codificadas				
	Mínimo (- α)	bajo (-1)	Medio (0)	alto (+1)	Máximo (+ α)	Mínimo	Bajo	Medio	Alto	Máximo
TA	47,928	50	55	60	62,071	-1,414	-1	0	+1	1,414
CA	2,575	2,7	3,0	3,3	3,424	-1,414	-1	0	+1	1,414



El arreglo del experimento bajo el diseño central compuesto, fue generado mediante software aplicando las ecuaciones descritas, los cuales se muestran en la tabla siguiente. Este tipo de experimento para optimización empieza con un diseño factorial estándar con dos niveles y se agrega dos corridas adicionales para cada factor. Las corridas adicionales, llamadas puntos estrella, son localizadas en distancias pequeñas iguales por debajo y encima del punto central, esto permite la estimación de la curvatura con respecto a tal factor. Mientras cada factor se empieza variándose, los otros factores son fijados en sus valores centrales (Ayala y pardo, 1995). Dicho arreglo fue aleatorizado con la finalidad de reducir el efecto de variables ocultas como tendencias sobre la temperatura entre otros. El diseño tiene las características de ser rotatable, se dice rotatable cuando la varianza de la respuesta predicha en cualquier punto depende solo de la distancia del punto al centro del diseño y no de la dirección, por lo que tiene la misma precisión de estimación en todas las direcciones (Fernández y Piñeiro, 2002).

El arreglo de experimentos generados por el software, representa la secuencia de experimentos a realizar bajo los valores mostrados, los cuales se ejecutaron aleatoriamente para garantizar la validez estadística de los resultados, considerando una probabilidad de error tipo I de 0,05 (Muñoz, Camargo y Gallego, 2008). El número de corridas se ha calculado con la siguiente fórmula:

$$N = 2^P + 2P + C$$

Donde:

N = número de tratamientos en el estudio

P = número de factores (en este caso 2),

C = número de puntos centrales.

Entonces las coordenadas en los ejes codificados X_1 y X_2 para el diseño central compuesto con dos factores se muestra a continuación: $N = 2^2 + 2*2 + 1 = 9$ tratamientos u observaciones para humedad de la fécula.

De igual modo se convirtió las variables codificadas a las variables naturales mediante la fórmula mostrada en la metodología. La tabla siguiente muestra el plan de experimentación a seguir para lograr la optimización.

Tabla 19: Plan de experimentos generado para la optimización y el resultado de cada corrida.

Nº Tratamientos (T)	Variables codificadas		Variables naturales		% de humedad
	TA (X_1)	CA (X_2)	TA (X_1)	CA (X_2)	
1	-1	-1	50	2,7	18,389
2	1	-1	60	2,7	16,407
3	-1	1	50	3,3	26,752
4	1	1	60	3,3	23,365
5	-1,414	0	47,928	3,0	22,250
6	1,414	0	62,071	3,0	19,091
7	0	-1,414	55	2,575	17,143
8	0	1,414	55	3,424	24,154
9	0	0	55	3,0	18,123

Donde:

TA: temperatura de aire caliente (°C)

CA: carga de alimentación (kg/min).

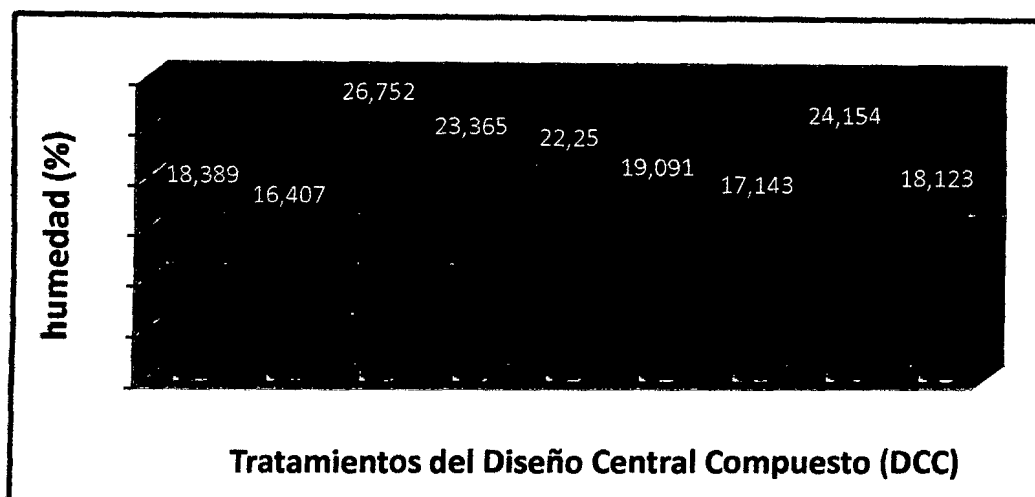


Figura 15: Porcentaje de humedad cuantificado en cada tratamiento

El análisis de la varianza expresa la variabilidad en la respuesta para cada uno de los efectos por comparación del cuadrado de la media y el error experimental estimado. Los resultados del ANOVA, mostraron que los efectos de los factores por individual y con interacción, no tienen una significancia alta ($p < 0,05$).

Tabla 20: Análisis de la Varianza para Humedad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F</i>	<i>P-Valor</i>
<i>A:TA</i>	12,094	1	12,094	10,99	0,029
<i>B:CA</i>	79,607	1	79,607	72,35	0,001
<i>AA</i>	9,165	1	9,165	8,33	0,044
<i>AB</i>	0,493	1	0,493	0,45	0,539
<i>BB</i>	9,023	1	9,023	8,20	0,045
<i>Error Total</i>	4,401	4	1,003		

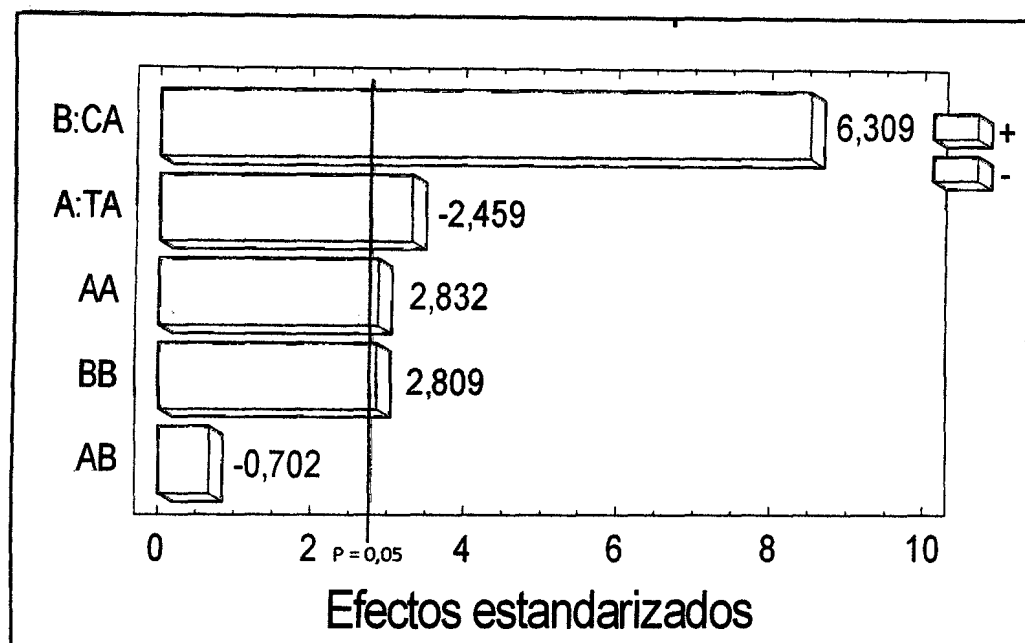


Figura 16: Pareto estandarizado para humedad

El gráfico 7 muestra cada uno de los efectos estimados para porcentaje de humedad e interacciones. También se muestra el error normal de cada uno de los efectos, el cual mide su error de muestreo. Este tipo de análisis permite estudiar la influencia de las variables sobre la respuesta de Humedad y las interacciones entre ellas. Se puede observar que en los efectos individuales, la carga de alimentación (CA) es el que más ha influido en la variación del porcentaje de humedad.

Es importante aclarar que el signo que presentan los coeficientes determina la forma como la variable influye en el sistema y da una idea de la dirección a seguir en los experimentos siguientes para ubicar el óptimo. Un signo positivo para una variable determinada, indica que debe incrementarse el índice del factor estudiado para aumentar el % humedad de la fécula, del mismo modo el signo negativo indica que debe disminuirse. Los valores al lado de la barra indican el coeficiente de contraste y el orden decreciente de importancia de las

diferentes variables estudiadas, la línea punteada indica el valor crítico de significancia de los factores hacia a variable dependiente.

En la mayoría de los casos la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes se desconoce. Por ello, el primer paso en la MSR consiste en determinar una aproximación apropiada a la relación funcional real entre la respuesta y la variable independiente, guiando al experimentador rápida y eficientemente a la cercanía del punto óptimo; hasta finalmente localizarlo mediante las ecuaciones y las graficas (Montgomery, 1986).

Para poder caracterizar la superficie de respuesta cercana al óptimo para humedad se muestra las siguientes figuras.

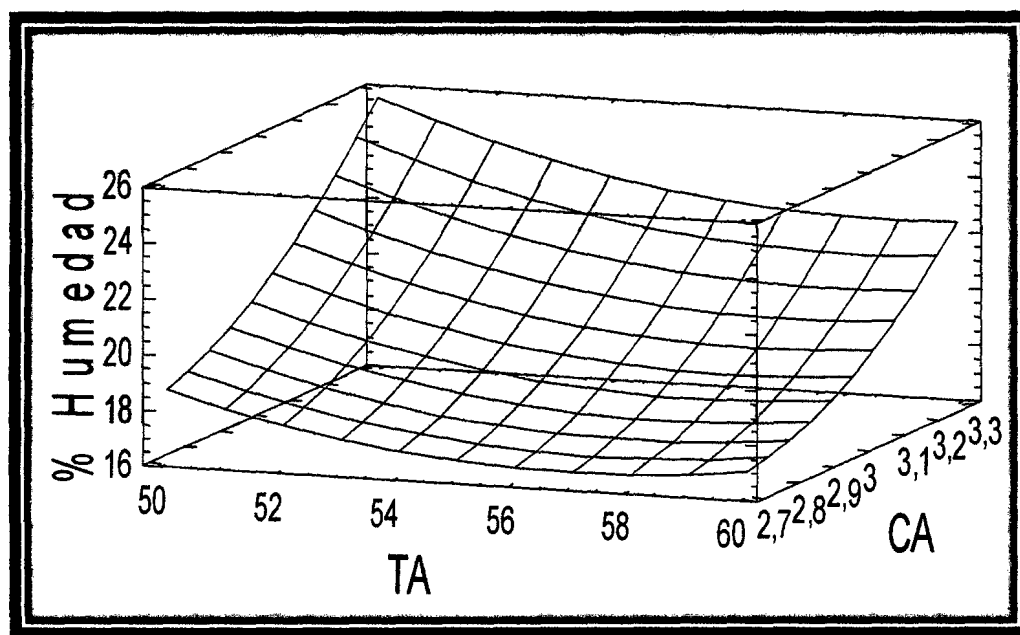


Figura 17: Análisis de superficie de respuesta de humedad generado por Stagraphics centurion XV

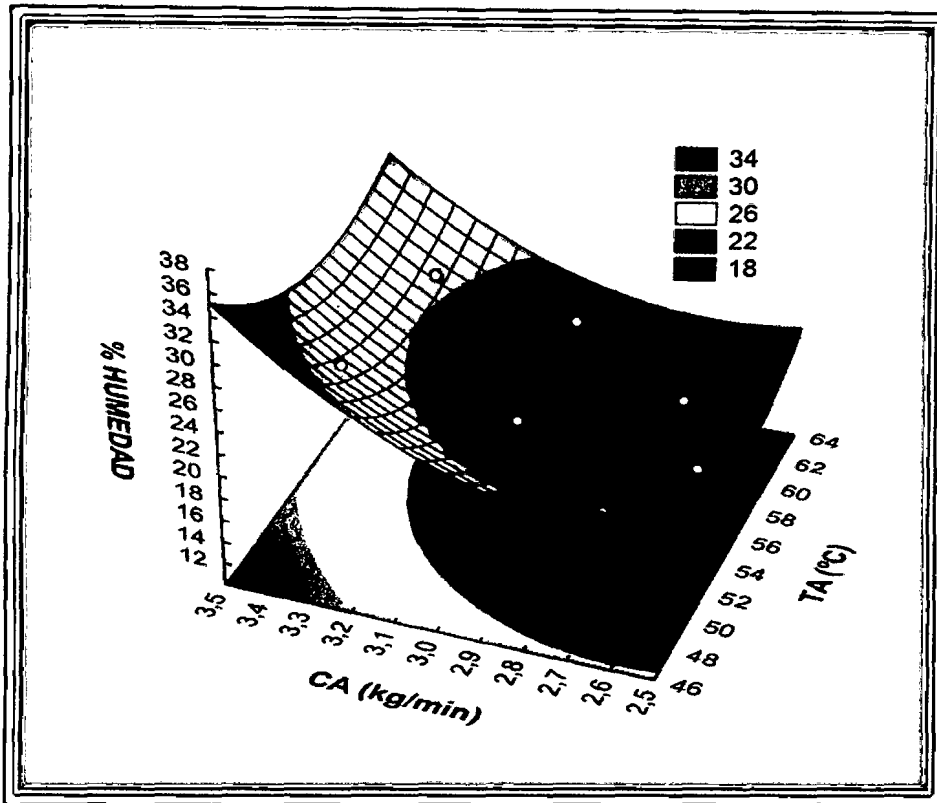


Figura 18: Análisis de superficie de respuesta de humedad generado por Statistica 8

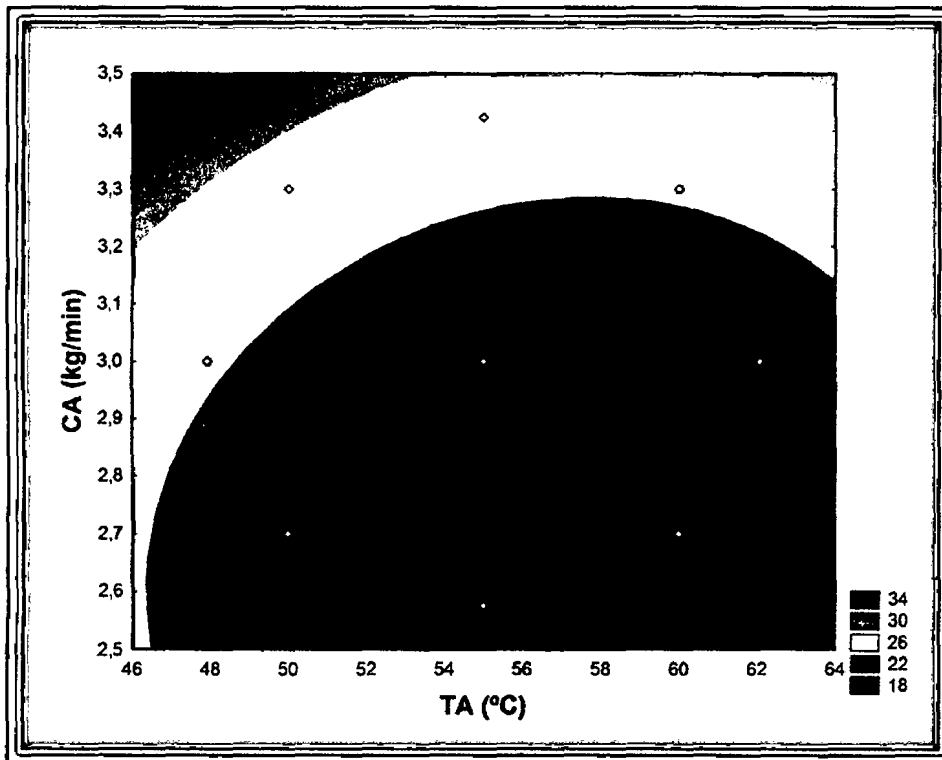


Figura 19: Análisis de superficie de respuesta de contorno para humedad

Las figuras 17, 18 y 19 muestran el análisis de superficie de respuesta de humedad de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera determinado a diferentes condiciones de temperatura y carga donde se muestra los puntos óptimos.

Cuyo coeficiente de determinación es $R^2 = 0,9597$ de la varianza de humedad, respectivamente.

A demás al determinar el coeficiente de regresión para la Humedad de la fécula se obtuvo.

Constante = 273,288

A: TA = -5,77346

B: CA = -70,2701

AA = 0,0566368

AB = -0,234167

BB = 15,6107

Por consiguiente se muestra el modelo obtenido que se representa por la siguiente ecuación de la regresión que se ha ajustado a los datos, la ecuación canónica del modelo ajustado es.

$$\% \text{ Humedad} = 273,288 - 5,77346*TA - 70,2701*CA + 0,0566368*TA^2 - 0,234167*TA*CA + 15,6107*CA^2$$

Esta ecuación indica que cuando se aplicó menor temperatura y mayor carga, el producto resultó más húmedo, por ejemplo, para el tratamiento 3 que se secó la fécula a 50 °C con carga de alimentación de 3,3 kg/min, en cambio cuando la temperatura es mayor y la carga menor, la fécula resultó menor la

Humedad por ejemplo el tratamiento 2 el cual se secó a 60 °C con carga de alimentación 2,7 kg/min.

Principalmente se puede apreciar de las gráficas anteriores y contrastado por la ecuación canónica que es factible optimizar los parámetros de secado en un secador flash tipo neumático, para cada caso se muestra que existe una región optima de los factores evaluados (ver las vistas superiores, para identificar), dicha región optima abarca para CA desde 2,7 hasta 3,3 kg/min y TA abarca desde 50 a 60 °C, estos valores son correspondientes a la etapa de la optimización (Escalamiento). Sin embargo se ha obtenido el punto óptimo para dichos factores (etapa de la Optimización final), los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 21: Valores óptimos de los factores evaluados

Factor	Mínimo evaluado	Bajo optimo	Valor optimo	Alto optimo	Máximo evaluado
TA: Temperatura de aire caliente (°C).	47,92	50	55	60	62,07
CA: Carga de alimentación (kg/min).	2,57	2,7	3	3,3	3,42

De la Tabla 21 se interpreta que los valores máximos y mínimos de los factores pueden ser evaluadas para determinar la humedad presente en la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.), por otro lado se ha obtenido valores optimizados para cada factor (TA = 55 °C, CA = 3 kg/min), en los cuales el porcentaje de humedad es lo adecuado. También se muestran los valores altos y bajos óptimos para cada factor, así como los mínimos y máximos evaluados en el experimento.



4.3. Balance de Materia.

Se realiza con la finalidad de determinar las pérdidas durante todo el proceso y la cantidad de fécula que se obtiene al final del mismo, se consideró la importancia de realizar un balance de materiales considerando el mejor tratamiento T9 (55 °C; 3 kg/min), lo cual contribuye a determinar la eficiencia del proceso.

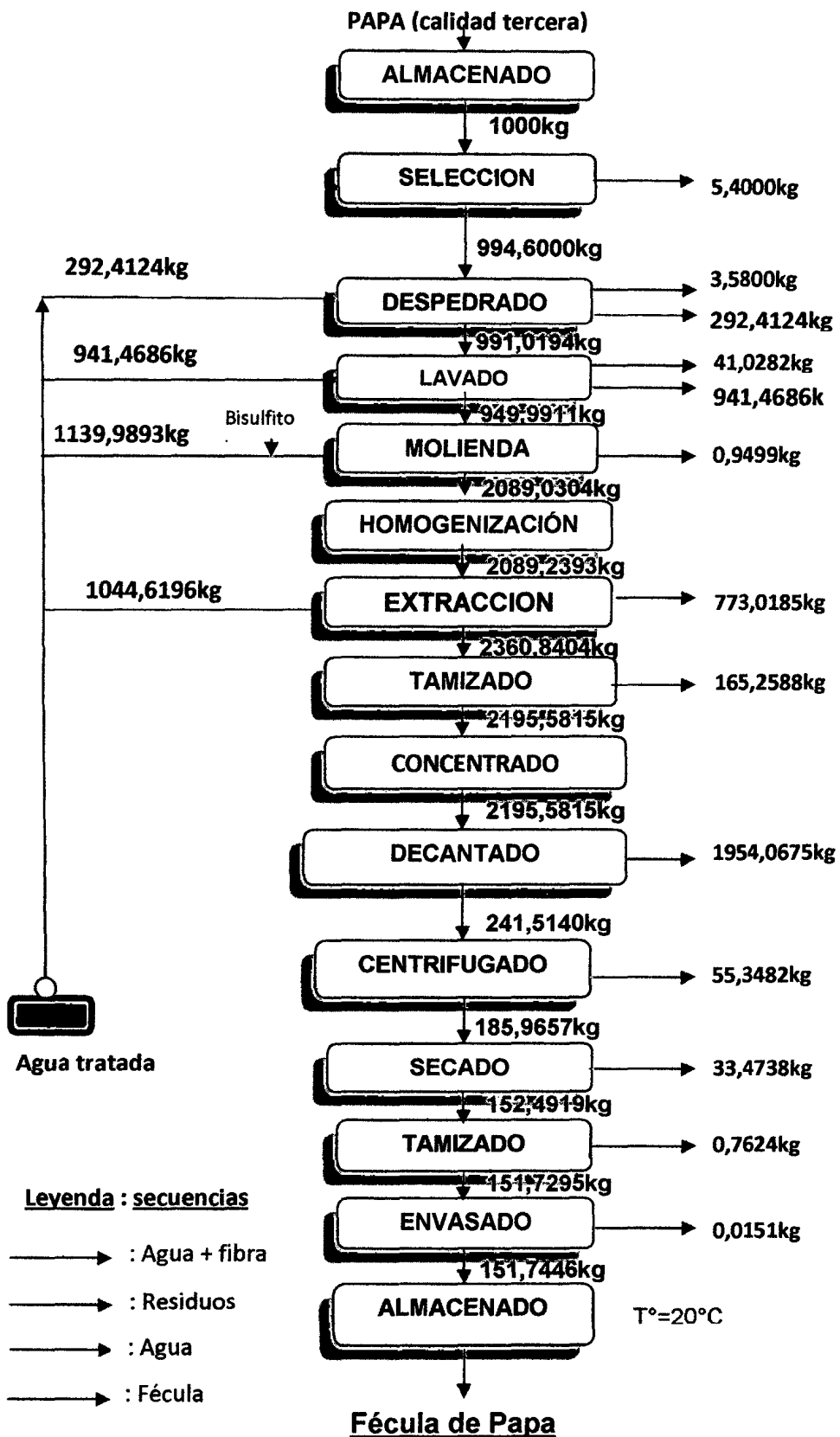


Figura 20: Diagrama de flujo cuantitativo de las operaciones unitarias a escala

Planta Piloto

4.3.1. Rendimiento de la fécula

$$R = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso Inicial}} * 100$$

$$R = \frac{151,7446 \text{ kg}}{1000 \text{ kg}} * 100$$

$$R = 15,1744\%$$

Del balance de materia se deduce que, por cada 1000 kg de papa calidad tercera se obtiene alrededor de 151,74 kg de fécula, equivalente a un porcentaje del 15,17% de rendimiento.

4.1. Análisis fisicoquímico proximal de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera

El análisis proximal se hizo al producto obtenido con el mejor tratamiento en el cual la fécula a analizar fue procesado y secado en el sacador flash de tipo neumático de la Planta Piloto Procesadora de Almidón de Andahuaylas con los siguientes parámetros optimizados en la presente investigación (TA = 55 °C, CA = 3 kg/min).

Por consiguiente la fécula obtenida, fue sometida al análisis proximal en condiciones necesarias para cuantificar la humedad, proteína, grasa, ceniza, fibra y carbohidratos estos resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 24: Análisis proximal de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.)

<i>Componentes</i>	<i>%</i>
<i>Humedad</i>	18,10
<i>Grasa</i>	0,05
<i>Proteína</i>	0,07
<i>Ceniza</i>	0,40
<i>Fibra</i>	0,02
<i>Carbohidratos</i>	81,36

El contenido de humedad es un factor que depende tanto de la materia prima como del método de obtención e y las condiciones del proceso de deshidratación o secado. En la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera se observa que la humedad fue 18,10%. En los reportados en la literatura indica que el contenido de humedad en los gránulos de almidón va de un 10 al 12% en cereales y de 14 a 19% en féculas de tubérculos y raíces. Un contenido superior de humedad puede ocasionar daño microbiano y por tanto, el deterioro en la calidad del polímero. (Beynum y Roels, 1985; Moorthy, 2002).

La presencia de los lípidos afecta las propiedades del almidón (capacidad de humectación, solubilidad y claridad) al evitar su unión con las moléculas de agua y causar rancidez durante el almacenamiento (Beynum y Roels 1985; Wolfgang *et al.*, 1999; Debet y Gidley, 2006). El contenido de grasa en la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera fue de 0,05%, por otro lado Moorthy, (2002) menciona que el contenido de lípidos en almidones procedentes de tubérculos y raíces es alrededor del 1%. Reportes previos (Beynum y Roels, 1985; Badui, 2001; Hosene, 1991; Lovedeep *et al.*, 2002; Debet y Gidley, 2006) han sugerido que los almidones provenientes de cereales como maíz, trigo, arroz cebada y sorgo, presentan un mayor contenido de éstos componentes lipídicos, los cuales les confieren ciertas propiedades.

Las proteínas (polipéptidos, péptidos, amidas, aminoácidos y enzimas) son las responsables del olor característico del almidón y de su capacidad espumante (Beynum y Roels, 1985). El contenido de proteína en la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera fue 0,07 (tabla 24). Por su parte, Joblin, (2004) indicó que el contenido proteico en el almidón de trigo es del 0,4% y en el almidón de maíz oscila entre el 0,35 al 0,50%. Hoover *et al.*, (2003) encontraron que el almidón de avena contiene 0,25% de proteínas, mientras que Jayakody *et al.*, (2007) reportan que el contenido de proteínas en el almidón de *Dioscorea esculenta* es de 0,18%.

Las cenizas están compuestas principalmente por calcio, magnesio, potasio, sodio hierro y fósforo (Badui, 2001), los cuales, con excepción del fósforo son de poca importancia en la funcionalidad del almidón, ya que el fósforo tiene una influencia significativa en las propiedades funcionales de estos materiales (Tester *et al.*, 2004). El contenido de cenizas de la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera es 0,40 (Tabla 24). A diferencia de los resultados obtenidos en este estudio han sido reportados por Amritpal *et al.*, (2007) en fécula de papa (0,45%).

En la fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera se observa en el contenido de fibra (0,02) y estos resultados son similares a los reportados en la literatura (Petnamsin *et al.*, 2000; Shamekin *et al.*, 2002).

Los carbohidratos constituyen el principal componente de fécula de (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera, cuyo contenido del mismo (81,36)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Luego de haber concluido la investigación sobre “Determinación de parámetros óptimos en el secado de fécula de papa (*Solanum tuberosum* L.) calidad tercera en un secador flash tipo neumático” se llegó a las siguientes conclusiones.

- En relación a la humedad, en el diseño factorial el mejor porcentaje en el rango se determinó en el tratamiento 5 (60 °C; 3,1 kg/min), con una media de 19.452% y optimizado final mediante diseño central rotatable, el porcentaje óptima fue el tratamiento 9 (55 °C, 3 kg/min) con una media de 18,123% seguido del tratamiento 1 (50 °C; 2,7 kg/min), con una media de 18,389%.
- Los factores temperatura de aire caliente (TA) y carga de alimentación (CA) en los tratamientos, no influyen significativamente en las propiedades funcionales de la fécula tales como en el índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), poder de hinchamiento (PH) y temperatura de gelatinización), en el análisis estadístico de varianza al 95% ($p < 0,05$) de confiabilidad.
- Del análisis fisicoquímica proximal de la fécula obtenida con el mejor tratamiento se obtuvo en humedad (18,10%); grasa (0,05%); proteína (0,07%); ceniza (0,40%); fibra (0,02%) y carbohidratos (81,36%).
- Mediante el balance de materia con los parámetros óptimos, se logro determinar el rendimiento en la producción de la fécula de papa (*Solanum*

tuberosum L.) en un 15,17%, equivalente a 151,74 Kg obtenido de 1000 Kg de materia prima calidad tercera.

- De los factores estudiados TA y CA, el que influye en mayor porcentaje en la variación de humedad es la carga de alimentación ya que depende de este la variación de la temperatura del aire caliente en el secador.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para posteriores trabajos de investigación es recomendable que estudien a las propiedades funcionales de la fécula con índices altas de temperatura, con el objetivo de observar el efecto del tratamiento sobre estas propiedades.
- Se recomienda, que la fibra obtenida durante el procesamiento de la fécula debe ser aprovechada en alimentos de animales u otras aplicaciones.
- Nunca, bajo ninguna circunstancia sobrepasar los parámetros de operación recomendadas por que afectaría a la calidad del producto.
- Se recomienda utilizar esta tecnología de secado instantáneo para el proceso de deshidratación, ya que es el más económico y es la infraestructura con la que cuenta la industria nacional, secadores que utilizan en el procesamiento de otro tipo de productos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Amritpal, K., Narpinder, S., Rajrathnam, E., y Harmeet, S. G. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, 102: 643-651.
- Asaoka, M.; Blanshard, J.M.V.; Rickard, J.E. 1992. Effects of cultivar and growth season on the gelatinisation properties of cassava (*Manihot esculenta*) starch. *J. Sci. Food Agric.*, v.59, p53-58.
- Atwell, W. A., Hood, L. F., Lineback, D. R., Varriano-Marston, E. y Zobel, H. F. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World* 33: 306-311.
- Ayala, J. y Pardo, R. (1995). "Optimización por diseños experimentales con aplicaciones en ingeniería". Primera Edición. Edit. A. & B S.A. CONCYTEC. Lima-Perú.
- Badui, S.D. (2001). *Química de los alimentos*. Ed. Pearson Education. México D. F. pp. 94-104.
- Baldwin, P.M. (2001). Starch granule-associated proteins and polypeptides: a review. *Starch/Stärke* 53: 475-503.
- Beynum, G.M.A. y Roels, J.A. (1985). *Starch conversion technology*. Ed. Marcel Dekker. Nueva York, Estados Unidos. pp. 360.
- Biliaderis, C.G. (1991). The structure and interactions of starch with food constituents. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 69: 60-63.
- Blennow, A., Engelsens, B.S., Nielson, H.T., Baunsgaard, L. y Mikkelsen, R. (2002). Starch phosphorylation: a new front line in starch research. *Plant Science*. 7: 445-450.
- Blanes Patricia, Garro Oscar A, Giménez María C. y Hunzicker Gabriel A. 2006. Aplicación de un diseño central compuesto para la determinación de especies orgánicas e inorgánicas de arsénico en agua por HPLC-HG-AAS. Facultad de Agroindustrias .U.N.N.E. Chaco. Argentina.
- Box, G. E. P., and Wilson, K. G. (1951). "On the experimental attainment of optimum conditions." *Journal of the Royal Statistical Society, B* 13, 145.
- Christiansen, JA; Vargas Machuca, R. 1980. La papa: su utilización. Guatemala, ICTA / PREDECODEPA. 50 p.



- Crosbie, G. (1991). The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours. *Journal of Cereal Science* 13: 145-150.
- Dreyer Armando, Coello Nereida y Montiel Edie. 2000. utilización de la metodología de superficie de respuesta, Instituto de Biología Experimental. Caracas- Venezuela.
- FAO, 2008, “el estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2008”, Roma, Italia.
- Fernandez M. Carmen D. y Piñeiro B. Montserrat. 2002. Superficies de respuesta métodos y diseños. México.
- Gómez, J. 2002. Información general de la papa en Guatemala (entrevista personal). Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Unidad de Normas y Regulaciones.
- Hermansson, A. y Svegmak, K. 1996. Developments in the understanding of starch functionality. *Trends in Food Science & Technology*. 7 (11):345-353.
- Hoover R.J., Smith, C., Zhou, Y., y Ratnayake, R.M.W.S. (2003). Physicochemical properties of Canadian oat starches, 52: 253-261.
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, 45:253–267.
- Hwang, J. y I. Kokini; *Contribution of the side branches to rheological properties of pectins*, *Carboh, Polym.*: 19(1), 41-50 (1992).
- Imberty, A. y otros cuatro autores; *The double helical nature of the crystalline part of A-starch*, *J. Mol. Biol.*: 201(2), 365-378 (1988).
- Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q., Donner, E. (2007). Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea sp.*) starches grown in Sri Lanka, *Carbohydrate Polymers*, 69: 148-163.
- Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q., Weber, E. (2005). Studies on tuber starches. I. Structure and physicochemical properties of finuala (*Solenostemon rotundifolius.*) starches grown in Sri Lanka, *Food Research International*, 38:615-629.
- J. Andrian. Calidad de la papa para usos industriales y sus derivados. 1990.

- Jackson, D. 2003. Starch: Structure, Properties, and Determination. En: Encyclopedia of Food Science and Nutrition, 2nd Edition: 5561-5567.
- Jones, SB. 1987. Sistemática vegetal. Trad. María de Huescas. 2 ed. México, McGraw Hill. 536 p.
- Jobling, S. (2004). Improving starch for food and applications. Plant Biotechnology. 7: 210-218.
- Lajolo, F.M.; E. Wenzel de Menezes; L. Varela (Eds.), (2006). Tecnología y Salud. Obtención, Caracterización, Efecto Fisiológico y Aplicación en Alimentos. Sao Paulo, Brasil. pp. 311-338.
- Lindeboom, N., Chang, P.R., Tyler, R.T. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. Starch/Starke, 56: 89-99.
- Linden, G. y Lorient, D. 2000. New ingredients in food processing. Woodhead Publishing, Cambridge, England. 550 p.
- Magali, L., Silene, B.S., Marney, P.C. (2003). New starches for the food industry: *Curcuma longa* and *Curcuma zedoaria*. Carbohydrate Polymers, 54:385-388.
- Ministerio De Agricultura-Andahuaylas. 2009. gerencia de producción y transformación agraria, Pronamchacs. Fichas comerciales de papas.
- Ministerio De Agricultura-Andahuaylas. (2007, 2008). Gerencia de producción y transformación agraria, Pronamchacs. Fichas comerciales de papas.
- Moorthy, S.N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. Starch, 54: 559-592.
- Montgomery, D (1986) Design and Analysis of Experiments. Cap 16 pp 467-403. John Wiley & Sons USA.
- Muñoz S. Julian, Camargo T. Diego y Gallego S. Darío. 2008. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta en un proceso de absorción del CO₂ de un biogás en una solución alcalina. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Pomeranz, Y. (1991). Functional properties of food components. 2ª ed. Academic Press. Estados Unidos. pp. 24-78.
- Sharma, H.; Physicochemical properties of *Canna edulis* starch: comparison with maize starch. VCH Verlagsgesellschaft mbh. D-6940, 4-8. Germany: [s.n], 2003.

- Sivack, M. y Preiss, J. (1998). Starch: Basic Science to Biotechnology. In: Advances in Food and Nutrition Research. New York, Academic Press. p 4.
- Smith, A. 2005. How plants make and degrade starch granules. In Proceedings Starch Update 2005: The third conference on Starch Technology: 7-13 p. 4-5 november- 2005 Bangkok, Thailand.
- Singh, S., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N.S. y Gill, B.S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources A review. Food Chemistry, 81: 219–231.
- Shamekh, S., Myllarinen, O., Poutanen, K. y Forsell, P. (2002). Film formation properties of potato starch hydrolysed. Starch, 54: 20-24.
- Tester, R. F. and Karkalas, J., 2002. Starch. In: Steinbüchel, A. (Series Ed.) Vandamme, E. J., De Baets, S., Steinbüchel, A. (vol. Eds.), Biopolymers, vol. 6. Polysaccharides. II. Polysaccharides from Eukaryotes, Wiley-VCH, Weinheim. pp. 381–438.
- Tester, F.R., Karkalas, J., Qui. X. (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. Journal Cereal Science, 39: 151-165.
- Tester, F.R. y Debon, S.J.J. (2000). Annealing of starch- a review. International Journal of Biological Macromolecules, 27: 1-12.
- Torre, G.L., Chel, G.L., Betancur, A.D. (2008). Functional properties of square banana (*Musa balbisiana*) starch. Food Chemistry, 106: 1138–1144.
- Thomas, D. J., Atwell, W.A. 2004. Starches. The Eagan Press Handbook Series, New York, USA. 101p.
- Whistler, R.L. y Daniel. J.R. (1990). Function of polysaccharides. In: Food Additives, Edited by Marcel Dekker, New York. pp 399-406.

ANEXOS

ANEXO N° 01
FOTOGRAFÍAS



Foto 1: Secador flash tipo neumático



Foto 2: Materia prima en el almacén

Fotos de los equipos utilizados en la obtención de almidón de papa de acuerdo al diagrama de flujo.

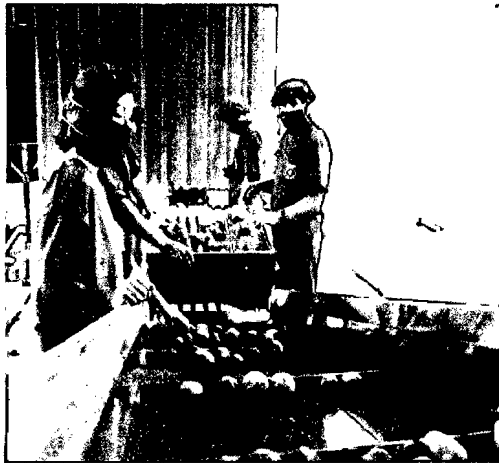


Foto 3: Faja transportadora de alimentación.

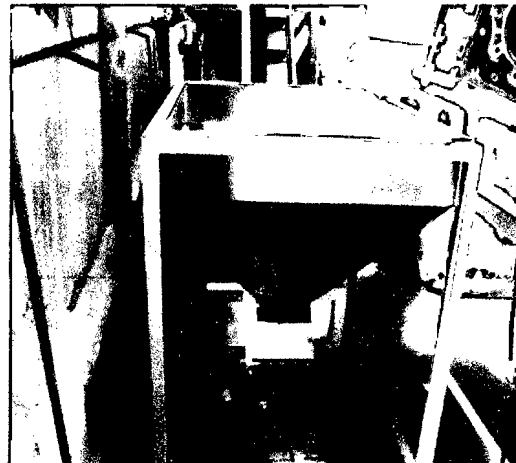


Foto 4: Distribuidora de papas.



Foto 5: Faja transportadora hacia el despedrado.

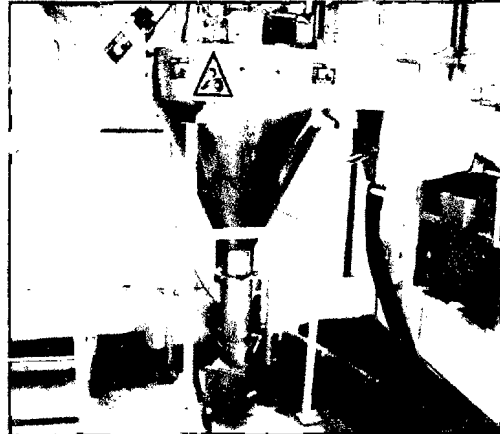


Foto 6: Despedrador.



Foto 7: Lavadora de papas.



Foto 8: Faja transportadora hacia el molino.

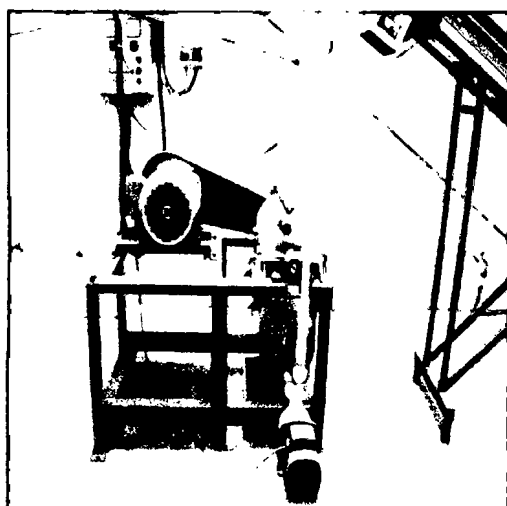


Foto 9: Molino súper raspador.

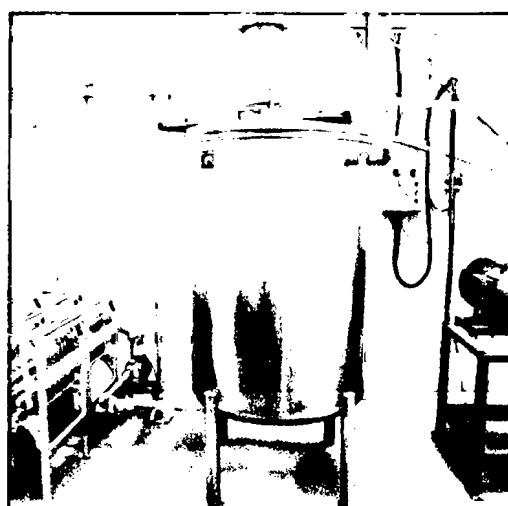


Foto 10: Tanque pulmón de almacenamiento de pulpa.

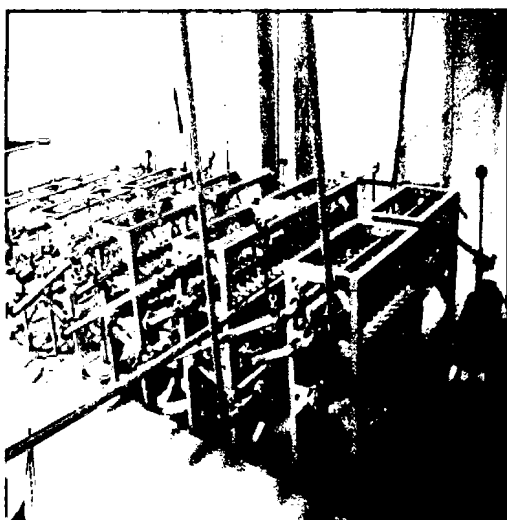


Foto 11: Hidrociclones.

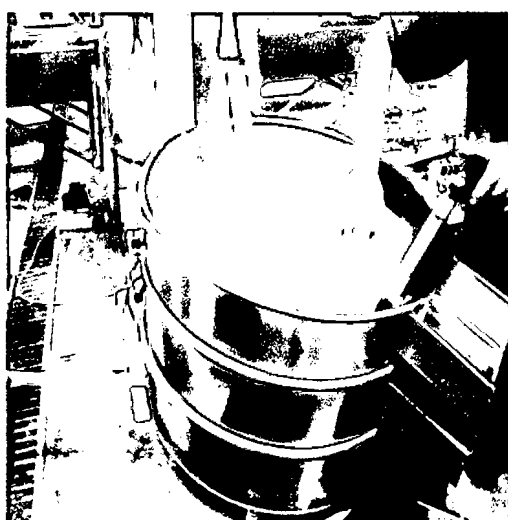


Foto 12: Tamizador Circular.

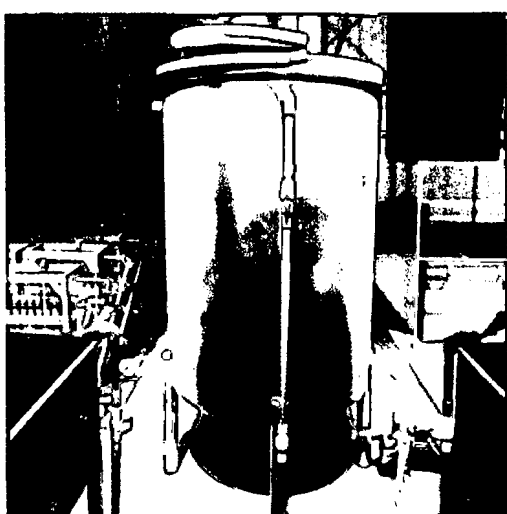


Foto 13: Tanque pulmón de almacenamiento de la lechada.



Foto 14: Tinas de decantación.



Foto 15: Centrifuga de tipo canasta.

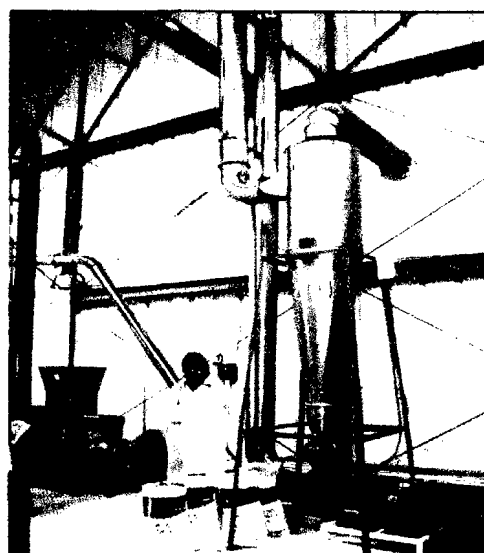


Foto 16: Secador flash de tipo neumático.

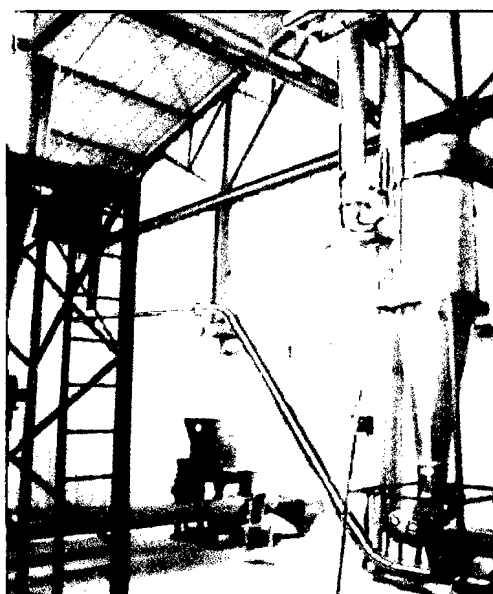


Foto 17: Enfriador neumático del almidón.

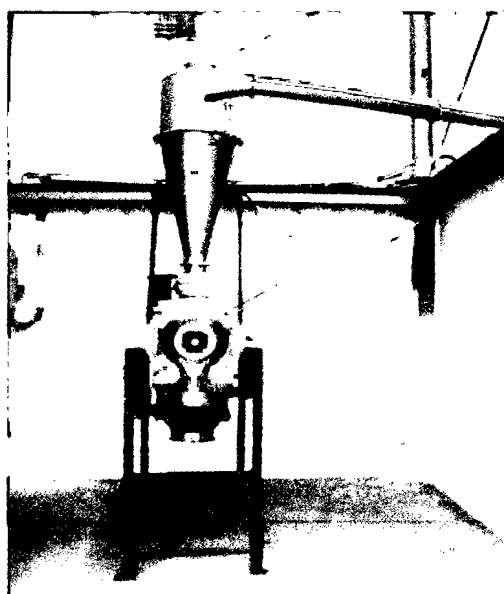


Foto 18: Tamizador fino

ANEXO 02

ESPECIFICACIONES DE LA PAPA FRESCA TERCERA

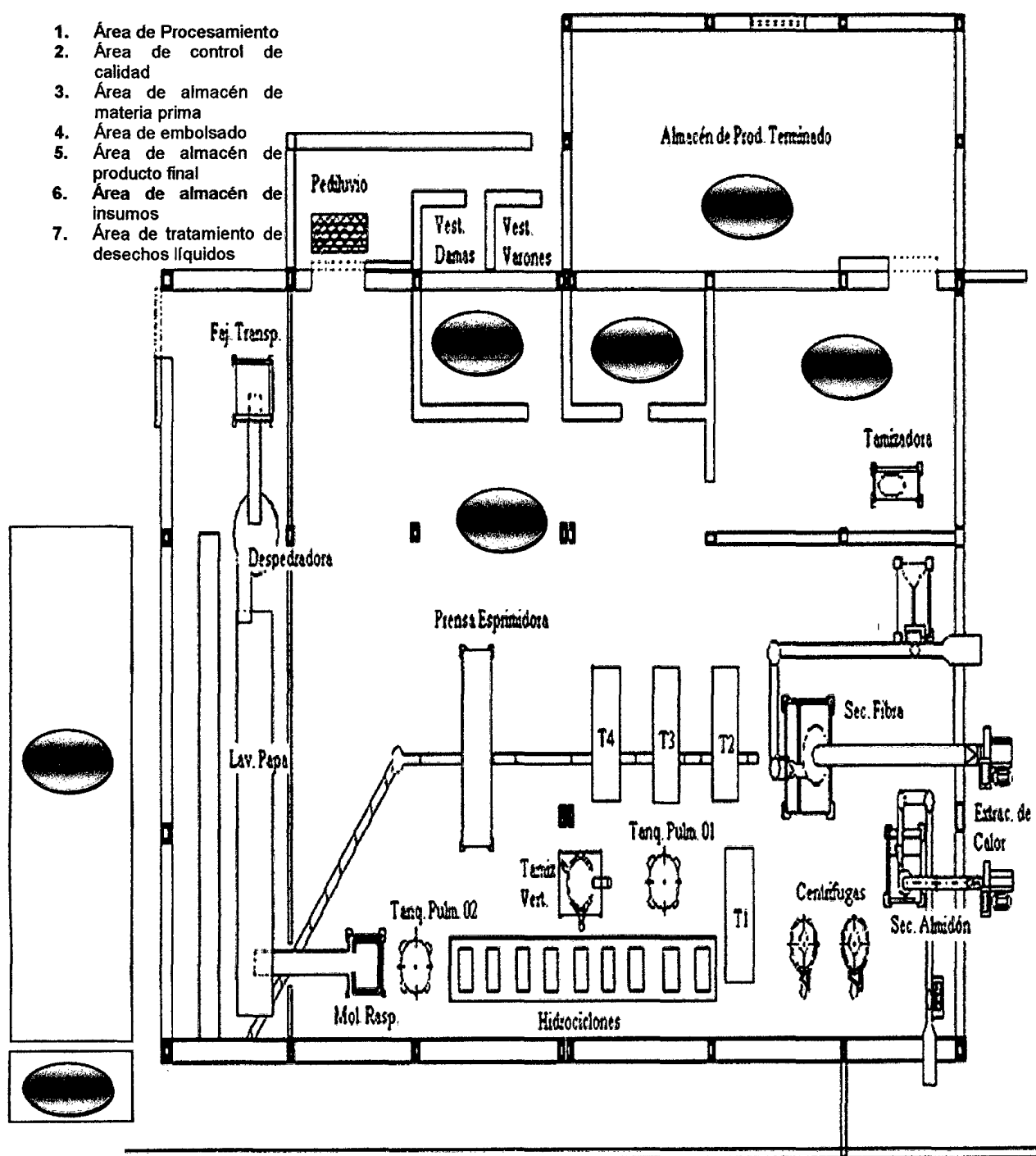
Condiciones necesarias que debe poseer la papa de tercera	
Uso	Se empleará en la elaboración de sub productos de la papa como almidón y otros.
Condiciones Sanitarias	El producto debe estar libre de todo tipo de insectos, arácnidos y sus excretas y fragmentos. No debe tener color u olor extraño el producto.
Características Sensoriales	Las características sensoriales que debe poseer la materia prima se muestra en la siguiente tabla.
Características Físicoquímicas	Humedad max. 70,05%
Almacenamiento	Guardar en un ambiente limpio, fresco y seco de fuente de contaminación y/o infestación.
Envase	El empaque debe encontrarse en buenas condiciones, cosidos, sin signos de haber sido adulterados.
Vida útil	El producto dura 45 días a temperatura ambiente
características sensoriales	
Color	característico al tubérculo
Olor	característico al tubérculo
Sabor	característico al tubérculo
Aspecto	Tamaño de 2cm a 3cm de diámetro, sin picaduras; homogéneo; 0,1% impurezas; 0,3% de papas malogradas.

Fuente: BPM de la planta piloto procesadora de almidón - Andahuaylas

ANEXO 03

AREA DE LA PLANTA

1. Área de Procesamiento
2. Área de control de calidad
3. Área de almacén de materia prima
4. Área de embolsado
5. Área de almacén de producto final
6. Área de almacén de insumos
7. Área de tratamiento de desechos líquidos



ANEXO 4
PROPIEDADES DE LOS DIFERENTES ALMIDONES Y FÉCULAS

	Fécula de Papa	Almidón de Maíz	Maíz waxy	Almidón de trigo	Fécula de Tapioca
Color	Blanco	Amarillento	Amarillento	Amarillento	Blanco
Tamaño de partícula um	5-100	2-30	3-26	1-46	4-35
Humedad %	18-20	11-13	11-13	11-13	13-15
Fósforo, %	0,08	0,02	0,01	0,06	0,01
Proteína, %	0,1	0,35	0,25	0,4	0,1
Grasa, %	0,05	0,8	0,2	0,9	0,1
Amilosa, %	20	27	-	28	17
Transparencia	Muy claro	Opaco	Claro	opaco	Claro
Retrogradación	Media	Alta	Muy Baja	Alta	Baja
Resistencia Mecánica	Media-baja	Media	Baja	Media	Baja
Textura	Larga	Corta	Larga	Corta	Larga
Temp. °C de Gelatinización	58-65	75-80	65-70	80-85	60-65
Pico de Viscosidad	800-2000	200-800	400-800	100-300	300-1000

Fuente: Industrias Alimenticias Fabp, S.A. de C.V., 2005

ANEXO 5

MÉTODOS DE ANÁLISIS

1. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA Y PODER DE HINCHAMIENTO

Técnica usada (Anderson et al., 1969)

1.1. Fundamento

Cuando se calienta una suspensión acuosa de almidón, los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua aumentando su tamaño. La determinación de estos índices se mide aprovechando la capacidad de absorción del agua del granulo de almidón y la exudación de fracciones de almidón a medida que se incrementa la temperatura de las suspensiones de almidón.

1.2. Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Baño con calentamiento constante
- Centrifuga
- Tubos de centrifuga plásticos de 50 mL
- Vasos de precipitado de vidrio de 50 mL
- Horno con temperatura constante
- Pipeta volumétrica de 10 mL
- Pipeteador de 30 mL

1.3. Descripción del proceso

- Pesar tubos de centrifuga secos a 60 °C.
- Pesar en los tubos 1,25 g de almidón (bs) y agregar exactamente 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar (sin excederse).

- Colocar en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; agitar la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento.
- Centrifugar a temperatura ambiente a 3600 RPM durante 30 minutos.
- Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y medir el volumen.
- Tomar 10 mL del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitados de 50 mL (previamente pesado).
- Secar el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C.
- Pesar el tubo de centrifuga con el gel.
- Pesar el vaso de precipitados con los insolubles.

1.4. Cálculos e interpretación de los resultados

$$\text{Indice de absorcion de agua (IAA)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{peso muestra (g)bs}}$$

$$\text{Indice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso solubles (g)}}{\text{peso muestra (g)bs}} \times 100$$

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{peso de la muestra (g)bs} - \text{peso solubles (g)}}$$

Almidones de buena calidad con alto contenido de almidón y alta viscosidad de la pasta, tendrán una baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento.

2. TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN

Técnica usada (Grace, 1977)

2.1. Fundamento

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría; cuando se calientan en solución a temperaturas altas alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia el hinchamiento de los gránulos. Esta temperatura es llamada temperatura de gelatinización.

2.2. Materiales y equipos

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Plancha de calentamiento
- Vasos de precipitado de vidrio de 100 y 250 mL
- Frascos volumétricos de 100 mL
- Pinzas de acero inoxidable
- Termómetro con escala de 0-100 °C

2.3. Descripción del proceso

- Pesar 10 g de almidón (bs) disolver en agua destilada y completar a 100 mL.
- Calentar agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85 °C.
- Tomar 50 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL.
- Introducir el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C.
- Agitar con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos.
- Leer la temperatura de gelatinización.

2.4. Cálculos e interpretación de los resultados

La temperatura de gelatinización se lee directamente en el termómetro.

3. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Método usado (NTP 209.264 – 2001)

3.1. Fundamento

El método es aplicable a alimentos sólidos, líquidos o pastosos no susceptibles a degradación al ser sometidos a temperaturas superiores a 105 °C, hasta su peso constante. El contenido de agua de un producto se define como la pérdida de masa que experimenta en condiciones determinadas.

El método se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa, de la muestra desecada hasta masa constante en estufa de aire.

3.2. Materiales y equipos

- Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg
- Capsulas de vidrio con tapa
- Desecador
- Estufa regulada a 103 ± 2 °C
- Espátula y pinzas

3.3. Procedimiento

- Colocar las capsulas durante al menos 1 hora en la estufa a la temperatura de secado del producto.
- Empleando pinzas, trasladar la cápsula tapada al desecador y dejar enfriar durante 30 a 45 min. Pesar la cápsula con una aproximación de 0,1mg registrar (m1).
- Pesar 2g de muestra previamente homogeneizada. Registrar (m2).

- Colocar la muestra con cápsula destapada y la tapa en la estufa a la temperatura y tiempo recomendado 105 °C x 5 horas.
- Tapar la cápsula con la muestra, sacarla de la estufa, enfriar en desecador durante 30 a 45 min.
- Repetir el procedimiento de secado por una hora adicional, hasta que las variaciones entre tres pesadas sucesivas no excedan de 5 mg (m3).

3.4. Cálculo y expresión de resultados

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m1 - m3}{m2 - m1} * 100$$

Donde:

m1: masa de la cápsula, en gramos

m2: masa de la cápsula con la muestra antes del secado, en gramos

m3: masa de la cápsula más la muestra desecada, en gramos