

**ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE SECADO CON AIRE CALIENTE EN PAPA DE  
LA VARIEDAD PARDA PASTUSA (*Solanum tuberosum*).**

**LIZETH BARRIOS BARRIOS**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL  
SAN JUAN DE PASTO  
2012**

**ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE SECADO CON AIRE CALIENTE EN PAPA DE  
LA VARIEDAD PARDA PASTUSA (*Solanum tuberosum*).**

**LIZETH BARRIOS BARRIOS**

**Trabajo de grado, presentado como requisito parcial para optar el título de  
Ingeniera Agroindustrial.**

**Director  
MAURICIO ALEXANDER BUCHELI JURADO  
Ingeniero Agroindustrial**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL  
SAN JUAN DE PASTO  
2012**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1<sup>ro</sup> del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
Msc, OLGA LUCIA BENAVIDES CALVACHE  
Jurado

\_\_\_\_\_  
Ing. ALVARO CORNEJO PERDOMO  
Jurado

San Juan de Pasto, 09 de Mayo de 2012.

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a DIOS porque sin su voluntad nada es posible, por la fe, la salud, y la esperanza para terminar este trabajo, porque ha estado conmigo a cada paso que doy por haberme recompensado con una valiosa familia.*

*A mis padres Jairo Marino Barrios y Gloria Barrios, quienes me enseñaron desde pequeña a luchar para alcanzar mis metas. Mi triunfo es el de ustedes, a mis hermanos Jhon Jairo y Edurd, por su incondicional amor, apoyo y confianza; gracias a sus consejos y palabras de aliento crecí como persona, por enseñarme que el temor a Dios es el principio de la sabiduría, por enseñarme a superar las adversidades a través de mis valores y principios.*

*A mi novio Andrés Felipe Cerón Cárdenas por acompañarme en todo el transcurso de esta carrera, quien me brindó su amor, su cariño y su apoyo constante, por ser tierno y comprometido con lo que haces, por sus aportes tan oportunos, por presentar gran esfuerzo y tesón en momentos de declive y cansancio, pero sobretodo ha sido mi compañero incondicional. Te amo.*

***Lizeth Barrios.***

## **AGRADECIMIENTOS**

La autora expresa su agradecimiento a:

Director y asesor Mauricio Alexander Bucheli Jurado porque siempre ha puesto su conocimiento a disposición de los estudiantes sin reservas, por su incondicional apoyo, colaboración, confianza y amistad brindada.

Álvaro Cornejo, Ing. Químico, por compartir su experiencia, amistad y brindarme su apoyo en este proyecto.

Olga Lucia Benavides, Ing. Química, por compartir su experiencia y sus buenos consejos para el desarrollo de esta investigación.

A la facultad de Ingeniería Agroindustrial, de quien he recibido gran apoyo.

Y todas las personas que de una u otra manera nos brindaron su colaboración en la realización de este proyecto.

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estudiar la cinética de secado con aire caliente y el efecto que tendría sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*), la cual fue adquirida en la empresa Papa Sana del municipio de Pasto Nariño. Para el secado se empleó un secador de bandejas con aire caliente, un medidor medio ambiental marca ENVIRO-METER™, modelo CC4332, el cual consta de un anemómetro, higrometro, luxómetro y dos termómetros, con el cual se midió la velocidad de aire y 2 termocuplas conectadas a un data logger al cual se asoció un sistema de visualización digital de datos para la medición de la temperatura. Se utilizó un diseño factorial  $2^k$  donde se evaluó el efecto de los factores espesor de lámina (0.2 cm y 0,4 cm), temperaturas (40°C y 60°C), velocidad del aire (5 m/s y 10 m/s); sobre las variables de respuesta tiempo de secado y humedad final, manteniendo constante el diámetro de las láminas 5cm, posteriormente se empleó un diseño compuesto central  $2^2$  + estrella con el cual se buscó la optimización de los factores, temperatura (48, 50, 54, 58 y 59 °C) y velocidades de aire (5, 6, 8 y 10 m/s), y el efecto que tendrían sobre las variables de respuestas tiempo, humedad, color y textura manteniendo constante el espesor de lámina en 0,2 cm y el diámetro en 5 cm, una vez desarrollado cada experimento las láminas de papa secas se molieron y la harina obtenida se tamizó y almacenó en bolsas de polietileno durante 2 meses, en este tiempo se les realizó los análisis fisicoquímicos.

Los resultados obtenidos indican que la temperatura óptima para secar papa es 58°C con una velocidad de aire de 6 m/s, y un espesor de lámina de 0,2 cm bajo estas condiciones la harina de papa variedad parda pastusa presentó mayor aceptación.

**Palabras Claves:** Cinética de secado, papa (*Solanum tuberosum*), Temperatura, Velocidad de aire, Espesor lámina.

## ABSTRACT

The objective of this research was the study the kinetics with hot air drying and the effect it would have on the physicochemical and sensory characteristics of the variety brown pastusa (*Solanum tuberosum*), which was acquired in the company Sana Pope Nariño municipality of Pasto. Was used for drying a tray dryer with hot air, environmental meter ENVIRO-METER™ brand, model CC4332, which consists of an anemometer, hygrometer, luxómetro and two thermometers, which was measured air speed and 2 thermocouple connected to a data logger which are associated with a digital display system of data for measurement of temperature. Factorial design was used 2K which evaluated the effect of the specific film thickness (0.2 cm and 0.4 cm), temperature (40 ° C and 60 ° C), air velocity (5 m / s and 10 m / s ) on the response variables drying time and final moisture, keeping constant the diameter of the blades 5 cm, is subsequently used a central composite design with 22 + star which is sought to optimize factors, temperature (48, 50 , 54, 58 and 59 ° C) and air velocities (5, 6, 8 and 10 m / s), and the effect that would have on the response variables time, humidity, color and texture while maintaining constant the thickness of lamina in 0.2 cm and 5 cm diameter, after each experiment developed sheets were ground and dried potato flour obtained was sieved and stored in polyethylene bags for 2 months at this time underwent physicochemical analyzes.

The results obtained indicate that the optimum temperature for drying potato is 58 ° C with an air velocity of 6 m / s, and a film thickness of 0.2 cm under these conditions the potato flour pastusa brown variety had higher acceptance.

**Key words:** Drying kinetics, potato (*Solanum tuberosum*), temperature, air velocity, film thickness.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION .....	17
1. IDENTIFICACIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA.....	19
2. JUSTIFICACION.....	21
3. OBJETIVOS.....	23
3.1 OBJETIVOS GENERAL.....	23
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4. MARCO REFERENCIAL .....	24
4.1 MARCO TEORICO .....	24
4.1.1 Generalidades. ....	24
4.2 ANTECEDENTES.....	29
5. DISEÑO METODOLÓGICO. ....	34
5.1 LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN Y OPERACIONES PRELIMINARES. ....	34
5.1.1 Localización. ....	34
5.1.2 Materia prima. ....	34
5.1.3 Limpieza y selección Materia prima. ....	34
5.1.4 Tratamiento Materia prima.....	35
5.2 DETERMINACIÓN CONDICIONES ADECUADAS PARA EL PROCESO DE SECADO.....	39
5.2.1 Secado de papa.....	39
5.2.2 Determinación de la velocidad del aire. ....	40
5.2.3 Diseño de experimentos. ....	41
5.2.4 Cálculo de humedad y tiempo de secado. ....	45
5.2.5 Molido y Tamizado de las hojuelas de papa seca. ....	45
5.3 OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE SECADO DE PAPA.....	47
5.3.1 Diseño de experimentos. ....	47
5.3.2 Análisis fisicoquímico.....	48
5.4 CINETICA DE SECADO .....	50
5.4.1 Fenomenología del aire de secado.....	50

5.4.2	Curvas de secado.....	50
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
6.1	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL VEGETAL.....	53
6.1.1	Material vegetal.....	53
6.1.2	Pérdidas en el pelado.....	53
6.1.3	Análisis bromatológico papa fresca variedad parda pastusa (Solanum tuberosum).....	54
6.2	FENOMENOLOGÍA DEL AIRE DE SECADO.....	56
6.3	DETERMINACIÓN CONDICIONES DE SECADO DE PAPA.....	56
6.3.1	Análisis curvas de humedad en función del tiempo, primer objetivo.....	62
6.3.2	Análisis gráficas de velocidad de secado en función del tiempo primer objetivo.....	68
6.4	OPTIMIZACION DE LAS VARIABLES DE SECADO DE PAPA.....	71
6.4.1	Análisis curvas de humedad en función del tiempo, durante la optimización de secado, segundo objetivo:.....	75
6.4.2	Análisis gráficas de velocidad de secado en función del tiempo durante la optimización de secado, segundo objetivo.....	78
6.4.3	Análisis molienda y tamizado.....	78
6.4.4	Análisis de varianza mediante la LSD para las condiciones de secado en la optimización:.....	80
6.4.5	Evaluación sensorial.....	84
6.4.6	Análisis de Vitamina C:.....	89
6.4.7	Análisis bromatológico de la harina de papa óptima:.....	90
7.	CONCLUSIONES.....	92
8.	RECOMENDACIONES.....	93
	BIBLIOGRAFIA.....	94
	ANEXOS.....	99

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Clasificación botánica de la papa:.....	24
Cuadro 2. Composición típica de harina de papa.....	25
Cuadro 3. Identificación de variable y sus niveles. ....	42
Cuadro 4. Matriz de experimentos para el secado de papa. ....	42
Cuadro 5. Identificación de variables y sus niveles para la optimización. ....	47
Cuadro 6. Matriz experimental para la optimización del secado de papa.....	48
Cuadro 7. Respuestas de color, textura y aceptación de la harina de papa.....	49
Cuadro 8. Pérdidas en el pelado. ....	53
Cuadro 9. Análisis bromatológico de papa fresca variedad parda pastusa (Solanum tuberosum). (g/100g). ....	54
Cuadro 10. Análisis bromatológico de papa fresca variedad parda pastusa (Solanum tuberosum). (g/100g), recalculada en base seca.....	54
Cuadro 10. Fenomenología del aire a condiciones de secado estudiadas para la papa parda pastusa (Solanum tuberosum). ....	56
Cuadro 11. Matriz de experimentos para el secado de papa con sus variables respuestas Humedad y Tiempo de secado.....	58
Cuadro 12. Humedades promedios de secado (%). Ensayos 1 al 8. ....	59
Cuadro 13. Velocidades de secado promedios R (Kg $H_2O$ / Kg material min). Ensayos 1 al 8. ....	65
Cuadro 14. Cuadro resumen de secado de papa parda pastusa (Solanum tuberosum).....	69
Cuadro 15. Prueba Múltiple de Rangos (método LSD 95,0%) ....	70
Cuadro 16. Análisis de Varianza para la variable de respuesta porcentaje de Humedad. ....	71
Cuadro 17. Análisis de Varianza para la variable de repuesta Tiempo (min). ....	71
Cuadro 18. Determinación de nuevos parámetros de secado.....	71
Cuadro 19. Matriz experimental para la optimización del secado de papa con sus variables respuestas. ....	72
Cuadro 20. Humedades promedios de secado (%), en la optimización. Ensayos 1 al 10. ....	73

Cuadro 21. Velocidades de secado promedios en optimización (Kg $H_2O$ /Kg material min). Ensayos 1 al 10.....	76
Cuadro 22. Granulometría de las harinas de papa.....	79
Cuadro 23. Pruebas de Múltiple Rangos para la Humedad en función de la Temperatura. ....	81
Cuadro 24. Pruebas de Múltiple Rangos para la Humedad en función de la velocidad del aire. ....	82
Cuadro 25. Pruebas de Múltiple Rangos para el tiempo en función de la Temperatura. ....	83
Cuadro 26. Pruebas de Múltiple Rangos para el tiempo en función de la Temperatura. ....	84
Cuadro 27. Cuadro resumen de la optimización de secado de papa parda pastusa (Solanum tuberosum). ....	87
Cuadro 28. Prueba Múltiple de Rangos (método LSD 95,0%) .....	89
Cuadro 29. Análisis de vitamina C, Harinas de papa variedad parda pastusa (Solanum tuberosum) en el ensayo de optimización. (mg / 100g). ....	89
Cuadro 30. Análisis bromatológico Harina de papa óptima de la variedad parda pastusa (Solanum tuberosum). (g /100g).....	90

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Comportamiento de los precios de la papa parda pastusa Enero a Marzo de 2010.....	20
Figura 2. Secador de bandejas o anaqueles.....	26
Figura 3. Esquema de extracción Soxhlet.....	28
Figura 4. Diagrama de flujo propuesto para la determinación de las condiciones adecuadas del secado de la papa variedad parda pastusa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	46
Figura 5. Contenido de humedad en función del tiempo de secado. ....	51
Figura 6. Curva de velocidad de secado en función del tiempo.....	52

## LISTA DE GRAFICOS

	<b>Pág.</b>
Grafico 1. Curvas de secado. Humedad en función del tiempo. ....	62
Grafico 2. Curvas de Velocidad de secado. Velocidad de secado en función del tiempo. Ensayos 1 al 8. ....	68
Grafico 3. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable % de humedad crítica. ....	69
Grafico 4. Curvas de secado de optimización. Humedad en función del tiempo. ....	75
Grafico 5. Curvas de Velocidad de secado. Velocidad de secado en función del tiempo. Ensayos 1 al 10. ....	78
Grafico 6. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable humedad en función de la temperatura. ....	80
Grafico 7. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable para la variable humedad en función de la velocidad del aire. ....	81
Grafico 8. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable tiempo en función de la temperatura. ....	82
Grafico 9. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable tiempo en función de la velocidad del aire. ....	83
Grafico 10. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable color. ....	85
Grafico 11. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable textura. ....	86
Grafico 12. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable aceptación. ....	86
Grafico 13. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable % de humedad crítica. ....	88

## LISTA DE IMAGENES

	<b>Pág.</b>
Imagen 1. Recepción y pesaje papa variedad parda pastusa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	34
Imagen 2. Limpieza y desinfección de papa parda pastusa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	35
Imagen 3. Pelado de papa en la peladora de tubérculos (INDUMATIC). ....	36
Imagen 4. Tajado e inmersión en bisulfito de sodio (láminas de papa). ....	36
Imagen 5. Determinación Humedad. ....	37
Imagen 6. Determinación de ceniza. ....	37
Imagen 8. Montaje para determinar proteína en la papa. ....	38
Imagen 9. Determinación de materia seca. ....	39
Imagen 10. Secador de bandejas con aire caliente planta piloto. ....	39
Imagen 11. Medidor medioambiental.....	41
Imagen 12. Tratamientos propuestos. ....	44
Imagen 13. Molido de las hojuelas de papa secas y Tamizado de la harina. ....	45
Imagen 14. Harina de papa parda pastusa.....	46
Imagen15. Papa de la variedad parda pastusa. ....	53
Imagen 16. Lámina de papa sometida a temperaturas superiores a 60°C. ....	57
Imagen 17. Lámina de papa sometida a temperatura de 60°C, 0,4 cm de espesor y (10 ó 5 m/s) de velocidad de aire, presenta una costra en la parte central. ....	64
Imagen 18. Panel de aceptación de harina de papa.....	84

## LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
<b>Ecuación 1.</b> Cálculo de Humedad en porcentaje.	45
<b>Ecuación 2.</b> Cálculo de Coeficiente convectivo $h_c$ .	50
<b>Ecuación 3.</b> Cálculo de Velocidad másica G.	50
<b>Ecuación 4.</b> Cálculo de densidad del gas.	50
<b>Ecuación 5.</b> Cálculo de Volumen húmedo $V_H$ .	50
<b>Ecuación 6.</b> Cálculo de velocidad de secado R.	51
<b>Ecuación 7.</b> Ecuación Humedad crítica determinada.	88

## LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Hoja de respuesta, prueba de aceptación por el método escala hedónica de 5 puntos.....	100
Anexo B. Análisis Bromatológico a la papa parda pastusa (Solanum tuberosum). Laboratorios Especializados. ....	101
Anexo C. Análisis Bromatológico Harina de papa parda pastusa (Solanum tuberosum). Laboratorios Especializados. ....	102
Anexo D. Análisis de Vitamina C, Harina de papa parda pastusa (Solanum tuberosum). Laboratorios Especializados .....	103
Anexo E. Cálculos para los balances de materia para el proceso de secado de papa.....	104
Anexo F. Cuadros de recopilación de datos en ensayos de secado de papa, Objetivo No. 1 .....	105

## INTRODUCCION

La papa (*Solanum tuberosum*) es una herbácea anual que produce el tubérculo de la papa, ésta ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz.

La papa es un alimento nutritivo que desempeña funciones energéticas debido a su alto contenido en almidón y funciones reguladoras por su contenido en vitaminas, minerales, fibra y proteínas, presentando un valor biológico relativamente alto dentro de los alimentos de origen vegetal.

“Por años ha sido consumida en estado fresco, es decir con un nivel de transformación cero de acuerdo a la clasificación de (Machado, citado por Isidro Planella)”<sup>1</sup>, sin embargo las tendencias de la alimentación han conducido a los productos procesados, llevando a que haya mayor demanda por ellos, para el caso de la papa, esto ha significado un crecimiento importante dentro del mercado industrial.

De hecho, un reporte por la FAO<sup>2</sup>, registra que el uso mundial de la papa se está trasladando, hacia los productos transformados con valor añadido, tales como papas fritas (hojuelas), papas a la francesa, papas congeladas y deshidratadas.

Este último aspecto reviste especial interés debido a que involucra la operación de secado cuyo propósito es aumentar la vida de anaquel de los alimentos mediante la reducción de la actividad de agua, asimismo la reducción del peso y el volumen, por lo tanto reduce los costos de transporte y almacenamiento. Sin embargo el secado implica la aplicación de calor y la eliminación de humedad de los alimentos. (Sharma, Shri. *Et al.*,2003)<sup>3</sup>, una temperatura elevada y un largo tiempo, generan daño por calor y afecta negativamente la propiedades sensoriales y nutricionales del producto.

Es así como dentro de este contexto se planteó una investigación enfocada en la **CINÉTICA DE SECADO CON AIRE CALIENTE EN PAPA DE LA VARIEDAD PARDA PASTUSA (*Solanum tuberosum*)**, dependiendo de la temperatura, de la velocidad de aire y del espesor de la lámina de papa, como una investigación que representará un aporte a las empresas dedicadas a la deshidratación de papa y a la comunidad científica en general.

---

<sup>1</sup> ISIDRO PLANELLA. Agroindustria y desarrollo económico.2ª ed. ICCA Colombia.1986.

<sup>2</sup> FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Año internacional de la papa. Usos de la papa. 2008.

<sup>3</sup> SHARMA SHRI K., MULVANEY STEVEN J., RIZVI SYED S. H. Ingeniería de alimentos. Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. Bogotá: s.n. 2003. p 348.

## 1. IDENTIFICACIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

Es importante resaltar que el departamento de Nariño cuenta con una serie de factores críticos que repercuten en la competitividad y que hacen que las ventajas potenciales que se tienen en los diferentes campos como el sector papero, no puedan expresarse plenamente. Los factores que influyen en esta competitividad son: deficiente infraestructura, poca utilización productiva de la tierra, limitado acceso a tecnologías, débil desarrollo institucional y la poca presencia del estado en el campo. Lo cual no ha permitido potenciar el desarrollo Agroindustrial de la papa en Nariño<sup>4</sup>.

Lo anterior, ha conducido a que el 85% de la papa producida en Nariño se consuma de forma fresca y solo el 15% se dedique a la industria<sup>5</sup>. Esto manifiesta que no hay un valor agregado significativo en el producto, debido a la falta de investigación respecto a las ventajas que puede ofrecer la papa.

De acuerdo con el informe de la Gobernación de Nariño, el departamento cuenta con 25 mil hectáreas sembradas, 12 mil familias dedicadas a la actividad y más de 4 millones de jornales por año; esto sustenta la importancia de quienes fomentan su crecimiento en la economía regional<sup>6</sup> constituyéndose en Nariño, en uno de los principales renglones productivos.

A pesar de que la industria del departamento, ha avanzado en los últimos años, el sector papero aún se encuentra en desarrollo, desencadenando en fluctuaciones tanto en la oferta como en la demanda, presentándose periodos de sobreproducción, que ocasiona pérdida de producto por deterioro o venta del mismo a un precio inferior o igual a los costos de producción como se observa en la figura 1.

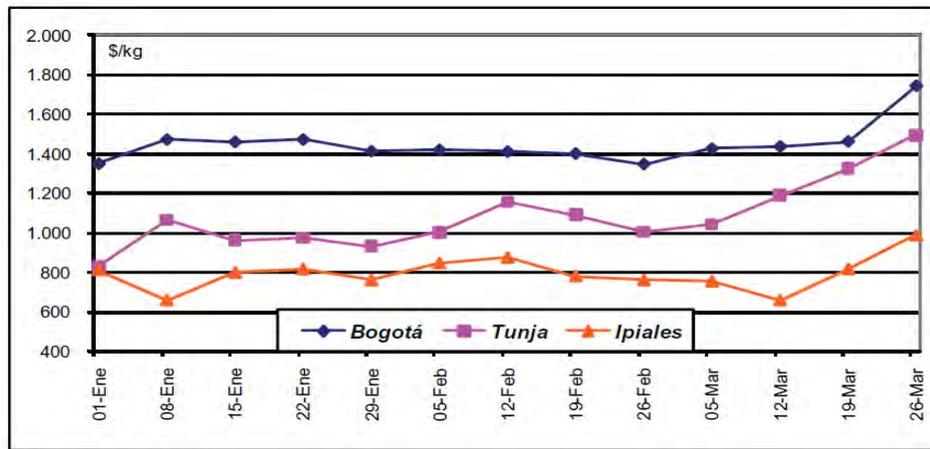
---

<sup>4</sup> GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Documento sobre la Problemática Agraria del Departamento de Nariño: Plan de Contingencia, 2006.

<sup>5</sup> NULE, M. Estudio de factibilidad para el montaje de un proyecto agroindustrial de papa en el Departamento de Nariño. Santa fe de Bogotá: s.n. mayo de 1998.

<sup>6</sup> GOBERNACIÓN DE NARIÑO FOMENTA LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA PAPA. Pasto, 2007 En: [www.gobernar.gov.co](http://www.gobernar.gov.co) (Fecha de consulta: 21 de junio de 2011).

**Figura 1. Comportamiento de los precios de la papa parda pastusa Enero a Marzo de 2010.**



Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2010.)

Si a lo anterior, se le suma que este sector se ha enfocado en la producción y comercialización de papa en fresco, sin integrar métodos que permitan visualizar nuevos enfoques, permitiendo a la papa poder generar valor agregado, aumentar la vida útil de la misma y ofrecer al mercado un nuevo producto acorde a las tendencias actuales, esta seguirá presentando pérdidas y no ganancias que es lo que cualquier inversionista podría esperar.

Una alternativa a tal situación, sería comenzar a involucrar a la papa en la elaboración de productos deshidratados (harinas), realizando estudios sobre la influencia que puedan tener las condiciones de secado, sobre las características composicionales de la harina de papa y así determinar las condiciones más apropiadas para su procesamiento. El secado es la operación que más se utiliza para conservar los productos, el problema radica en que la calidad del producto, se ve fuertemente afectada por las condiciones de esta operación. El daño térmico experimentado por el producto es directamente proporcional a la temperatura y al tiempo. Una temperatura elevada y un largo tiempo de secado asociados, generan daño por calor y afecta negativamente la textura, color, flavor y el valor nutricional del producto<sup>7</sup>.

En este sentido el problema con el cual se trabajo en este proyecto es la falta de investigación respecto a las condiciones más adecuadas en el secado de la papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*), de tal forma que permita obtener las mejores características en el producto final.

<sup>7</sup>ERENTURK, S; GULABOGLU, M.S; GULTEKIN, S. The effects of cutting and drying medium on the vitamina C content of rosehip during drying. *Journal of FoodEngineering*, (2005). P. 68, 513-518.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Nariño es uno de los departamentos que se destaca en la producción y comercialización de papa por sus condiciones agroecológicas favorables para su cultivo, puesto que la producción óptima de la papa se da en aquellas zonas ubicadas entre los 2.500 y 3.000 metros de altitud sobre el nivel del mar, por lo que el 80% de su producción se concentra en tres departamentos: Cundinamarca (42%), Boyacá (23%) y Nariño (14%). En estos departamentos esta es la actividad rural que más ingresos y empleo genera<sup>8</sup>.

“En Nariño se estima que la variedad de mayor cultivo es la variedad Parda Pastusa con el 50% del área, la Capiro con una participación del 30%, ICA Nariño con el 15% y otras como la Amarilla y la San Pedro con el 5%”<sup>9</sup>.

Respecto a las cualidades alimenticias de la papa, Woolfe (1987)<sup>10</sup>, mencionó que la papa es subestimada, a pesar de haberse demostrado que es fuente de proteína de alto valor biológico, que tiene una relación favorable de caloría proteínica y caloría total, y fuente importante de vitaminas y minerales.

Bajo esta afirmación, se han llevado a cabo trabajos de investigación con papa, en los cuales se ha utilizado la operación de secado, como uno de los métodos más antiguos para la conservación de alimentos<sup>11</sup>, algunos autores citados por Torres, *Et al.* (2008)<sup>12</sup> mencionan que este método se convierte en una excelente alternativa para prolongar el periodo de vida útil, así como para disminuir el peso para el transporte y reducir el espacio requerido para su almacenamiento.

Lo anterior ha conducido a la transformación agroindustrial de la papa, en donde se resalta la obtención de harina que está siendo una innovación, presentando

---

<sup>8</sup> MARTÍNEZ, H, *Et al.*, “La papa en Colombia. Una mirada global a su estructura y dinámica 1991-2005”, *Documento de Trabajo*, N° 100, Bogotá: Observatorio Agrocadenas Colombia, 2006, p. 5.

<sup>9</sup> MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, Observatorio Agrocadenas Informe de coyuntura papa primer trimestre. Bogotá: p 6. 2006.

<sup>10</sup> WOOLFE, Jennifer A. 1987. *The patata in the human diet*. Cambridge University Press. Cambridge, landan, p 231.

<sup>11</sup> VEGA, A; ANDRES, A; FITO, P. Modelado de la Cinética de Secado del Pimiento Rojo (*Capsicum annuum L. cv Lamuyo*). *Inf. tecnol.*, La Serena, v. 16, n. 6, 2005. Disponible en <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642005000600002&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000600002&lng=pt&nrm=iso)>. acceso en 25 jun. 2011.

<sup>12</sup> MONTES, E; TORRES R., ANDRADE R., PÉREZ O., MARIMON J., MEZA, I. Modelado de la cinética de secado de ñame (*dioscorea rotundata*) en capa delgada. *Revista Ingeniería e Investigación*, agosto, /vol. 28, número 002. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp. 45-52. 2008.

diferente usos<sup>13</sup>, entre los cuales se destacan los estudios realizados por Cerón y otros (2011)<sup>14</sup> quienes investigaron la formulación de la harina de papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*) en Panadería, evidenciando así la importancia de llevar a cabo estudios sobre el secado de está (cinética de secado), de tal forma que la calidad del producto (harina) no se vea afectada por las condiciones de esta operación, asegurando que el producto obtenido una vez culminada la operación no presente daño térmico afectando la textura, color, sabor y el valor nutricional.

Asimismo mediante un diseño de experimentos factorial y la metodología de superficie de respuesta que permite la optimización del proceso como el secado con aire caliente y la determinación de la influencia de los factores de estudio tiempo, temperatura, entre otros, se asegura obtener resultados acordes a los propósitos buscados en esta investigación.

Igualmente en la actualidad la Facultad de Ingeniería Agroindustrial cuenta con equipos como son la unidad de secado, peladora de tubérculos, molinos etc. que permitieron garantizar el desarrollo del proyecto. Como se puede apreciar, los anteriores aspectos de orden agroindustrial, económico y social justificaron el proyecto.

---

<sup>13</sup>SHININGHWA ENTERPRISE CO., LTD. Disponible en <http://www.shining-hwa.es/>. Harina de papa. fecha de consulta 23/06/11.

<sup>14</sup> CERÓN, A., HURTADO, A., OSORIO, O., BUCHELI, M. Estudio de la Formulación de la Harina de Papa de la Variedad Parda Pastusa (*solanum tuberosum*) Como Sustituto Parcial de la Harina de Trigo en Panadería. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol. 9 No. 1 (115 - 121) enero - junio 2011

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVOS GENERAL**

Realizar un estudio de cinética de secado con aire caliente en papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*).

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar mediante la técnica de diseño factorial de experimentos, las condiciones más adecuadas para el proceso de secado con aire caliente de papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*), que permita obtener el tiempo y la humedad adecuada.
- Optimizar las variables de secado de papa, mediante la técnica de diseño compuesto central y la metodología de superficie de respuesta, de tal forma que se obtenga unas características fisicoquímicas y sensoriales apropiadas.
- Determinar parámetros de cinética de secado de papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*), como periodos de velocidad, humedad crítica, curvas de secado, bajo diferentes condiciones de operación.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO TEORICO

**4.1.1 Generalidades.** A continuación se realiza una contextualización de los conceptos básicos sobre los cuales se trabajó en el proyecto:

#### **Papa.**

“Es el tubérculo más consumido en el país, procede de la planta *Solanum tuberosum*, la clasificación botánica se presenta en la Cuadro 1. La papa es un tubérculo proveedor de una gran cantidad de nutrientes y de energía por su alto contenido de almidón, que en promedio puede alcanzar un 14% su contenido en proteína y grasa es bajo. Además de poderse comercializar en fresco, presenta una gran variedad de posibilidades para ser industrializada y obtener productos con valor agregado de gran aceptación por el consumidor en general”<sup>15</sup>. Una de las alternativas de la industrialización de la papa es la harina de papa, en la Cuadro 2., se presenta la composición típica de la harina de papa.

Se contabilizan más de 200 variedades de papa, de las cuales solo se exportan 30 variedades según FEDEPAPA, de ellas la variedad Parda pastusa es la más cultivada y la que mayor se consume en estado fresco.

#### **Cuadro 1. Clasificación botánica de la papa:**

DIVISIÓN:	Angiosperma
CLASE:	Dicotiledóneas
SUBCLASE:	Metaclamídeas
ORDEN:	Tubiflorales
FAMILIA:	Solanaceae
GÉNERO:	Solanum
SUBGÉNERO:	Papa
SECCIÓN:	Petota
SUBSECCIÓN:	Papa

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2007)<sup>16</sup>

<sup>15</sup> CHAVARRÍA, A. Evaluación tecnológica de algunas posibilidades de industrialización de la papa. 1985.

<sup>16</sup> MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Alianza para la comercialización de papa criolla con productores de Nariño. p 23. 2007.

“El departamento Nacional de planeación indica que el consumo per cápita promedio nacional de papa es de 65 Kg/año es el producto agrícola de mayor consumo per cápita en el país.”<sup>17</sup>

Según Nule M. (1998)<sup>18</sup>, la industria y la transformación de la papa en los últimos años presenta un consumo sostenido, estimado en el 8% de la producción nacional. Un producto con valor agregado de la papa es la harina de papa, su composición se indica en la Cuadro 2.

### **Cuadro 2. Composición típica de harina de papa.**

<b>Característica</b>	<b>%</b>
Humedad	7,2
Proteína cruda	7,7
Ceniza	3,3
Grasa	0,8
Materia seca	81

Fuente: Pineda B y Vázquez <sup>19</sup>

### **Secado.**

“Por lo general, el término secado se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia”.<sup>20</sup>. “El secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es habitualmente la etapa final de una serie de operaciones y con frecuencia, el producto que se extrae de un secadero pasa a ser empaquetado”.<sup>21</sup>

---

<sup>17</sup>FEDEPAPA. Variedades de papa en Colombia. En: revista papa número 19 (abril de 1999). P. 35.

<sup>18</sup>NULE, M. Estudio de factibilidad para el montaje de un proyecto agroindustrial de papa en el departamento de Nariño. Santa fe de Bogotá,. P. 40. mayo de 1998

<sup>19</sup>PINEDA, B y VÁZQUEZ, L., Evaluación Físicoquímica y Sensorial de Pan Suplementado Con Diferentes Concentraciones de Harina de Papa. En: XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, gto. (Jue 27- Vie 28 de mayo de 2010).

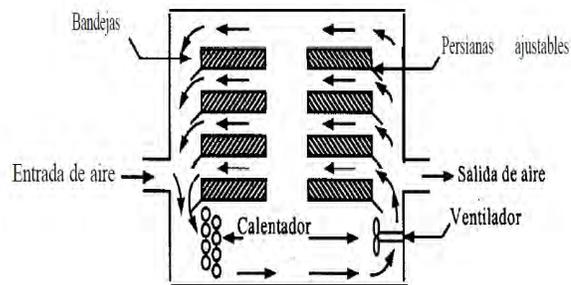
<sup>20</sup>TREYBAI R.E. Operaciones de transferencia de masa. 2ª. Edición. McGraw-Hill, México D.F., México.1980.

<sup>21</sup>WKREN, L, McCabe. SMITH, J.; HARRIOTT, P. Operaciones unitarias en Ingeniería Química. Sexta edición. P.1199. 2001

## Secador de bandejas.

También se llama secador de anaqueles, de gabinete, o de compartimientos, el material, que puede ser un sólido en forma de terrones o una pasta, se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal. Un secador de bandejas típico, tal como el que se muestra en la figura 2, tiene bandejas que se cargan y se descargan de un gabinete. “Un ventilador recircula aire calentado con vapor paralelamente sobre la superficie de las bandejas”.<sup>22</sup>

**Figura 2. Secador de bandejas o anaqueles.**



Fuente: Geankoplis C.J. 1998.

## Ventilador.

“Los ventiladores, sopladores y compresores son dispositivos para mover gases (casi siempre aire). Los ventiladores descargan grandes volúmenes de gases”.<sup>23</sup>

## Calentador.

“En algunos calentadores directos, el aire se calienta por la mezcla con los gases de combustión. En los calentadores indirectos, el aire y el producto se calientan en un intercambiador de calor”.<sup>24</sup>

## Humedad libre.

La humedad libre es la humedad contenida por una sustancia en exceso de la humedad en el equilibrio. Sólo puede evaporarse la humedad libre; el contenido de humedad libre de un sólido depende de la concentración del vapor en el gas.<sup>25</sup>

<sup>22</sup>GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones Unitarias. 3ª ed. Editora Continental, México D.F. p 1008. 1998.

<sup>23</sup>Ibid. p.599.

<sup>24</sup>IBARZ, A. and BARBOSA, G. V. Unit Operations in FoodEngineering.p.873. .2003.

<sup>25</sup>TREYBAL, R.E. Operaciones de transferencia de masa. 2ª. Edición. McGraw-Hill, México D.F., México. P 858. 1980.

### **Humedad crítica.**

“En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no está totalmente mojada, y la porción mojada comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda seca en su totalidad”.<sup>26</sup>

### **Harina.**

“Es el producto finamente triturado, obtenido de la molturación del grano de trigo maduro, sano y seco e industrialmente limpio”<sup>27</sup>.

#### ➤ **Análisis Bromatológico.**

**Determinación de humedad:** “La determinación de secado en estufa se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. El principio operacional del método de determinación de humedad utilizando estufa y balanza analítica, incluye la preparación de la muestra, pesado, secado, enfriado y pesado nuevamente de la muestra”<sup>28</sup>. (Nollet, 1996).

**Método de Soxhlet:** “Es una extracción semicontinua con un disolvente orgánico. En este método el disolvente se calienta, se volatiliza y condensa goteando sobre la muestra la cual queda sumergida en el disolvente. Posteriormente éste es sifoneado al matraz de calentamiento para empezar de nuevo el proceso como se observa en la figura 3. El contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso”.<sup>29</sup>

---

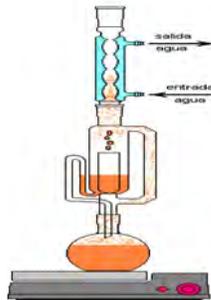
<sup>26</sup> GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones Unitarias. 3ª ed. Editora Continental, México D.F. 1998. p 1008.

<sup>27</sup>CALAVERAS, J. Nuevo tratado de panificación y bollería. 2ª ed. p 625. 2004

<sup>28</sup>NOLLET, L. M. L (Ed).; Handbook of Food Analysis; M. Dekker, Nueva York 1996.

<sup>29</sup>NIELSEN S. Food Analysis Laboratory Manual; Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York, 2003.

**Figura 3. Esquema de extracción Soxhlet**



Fuente: (Nielsen, 2003).

**Método de cenizas:** La determinación en seco es el método más común para cuantificar la totalidad de minerales en alimentos y se basa en la descomposición de la materia orgánica quedando solamente materia inorgánica en la muestra, es eficiente ya que determina tanto cenizas solubles en agua, insolubles y solubles en medio ácido. En este método toda la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre los 550 -600°C; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza<sup>30</sup>.

**Determinación de proteínas:** Proteína cruda. “Método de Kjeldahl” (AOAC Official Method 2001.11)

El método se basa en la determinación de la cantidad de Nitrógeno orgánico contenido en productos alimentarios, compromete dos pasos consecutivos:

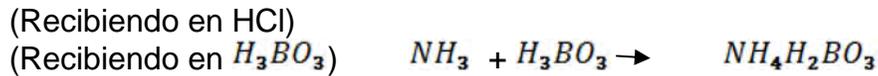
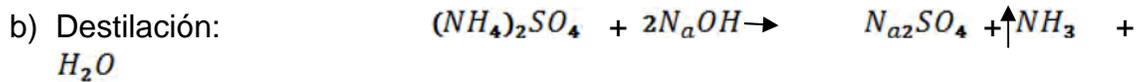
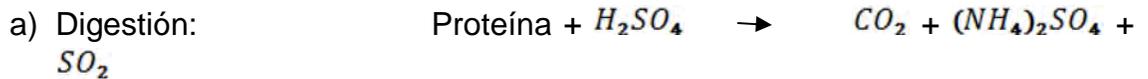
- a) La descomposición de la materia orgánica bajo calentamiento en presencia de ácido sulfúrico concentrado.
- b) El registro de la cantidad de amoniaco obtenida de la muestra.

Durante el proceso de descomposición ocurre la deshidratación y carbonización de la materia orgánica combinada con la oxidación de carbono a dióxido de carbono. El nitrógeno orgánico es transformado a amoniaco que se retiene en la disolución como sulfato de amonio. La recuperación del nitrógeno y velocidad del proceso pueden ser incrementados adicionando sales que abaten la temperatura de descomposición (sulfato de potasio) o por la adición de oxidantes (peróxido de hidrógeno, tetracloruro, persulfatos o ácido crómico) y por la adición de un catalizador. (Nollet, 1996)

---

<sup>30</sup>NOLLET, L. M. L (Ed).; Handbook of Food Analysis; M. Dekker, Nueva York 1996.

El método de Kjeldahl consta de las siguientes etapas:



c) Titulación

Para convertir el nitrógeno a proteína se emplea el factor de 6.25 el cual proviene de la consideración de que la mayoría de las proteínas tienen una cantidad aproximada de 16% de nitrógeno<sup>31</sup>.

**Factor**= 100g proteína/16g nitrógeno = 6.25

**Vitamina C:** El contenido de vitamina C se llevo a cabo en las harinas de papa en la etapa de optimización, se determinó mediante métodos descritos para el análisis químico de alimentos del laboratorio de bromatología de la Universidad de Nariño, basado en las técnicas de la AOAC (1997), sobre las cuales se aplicó los siguientes principios:

Por tratamiento con la o-nitroanilina diazotada, el ácido ascórbico se convierte en o-nitrofenilhidrazina del ácido oxálico, la cual en presencia de un exceso de hidróxido de sodio, forma la sal sódica de coloración rojo violeta que presenta un máximo de absorción a 540 nm. Lo cual se aprovecha para determinar vitamina C (método de Morh).

## 4.2 ANTECEDENTES

“El secado es la operación que más se utiliza para conservar productos alimenticios, ya que con ella se reduce el contenido de agua, inhibiendo el

<sup>31</sup> Análisis de Alimentos Fundamentos y Técnicas. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/53790476/96/Proteina-cruda-%E2%80%9CMetodo-de-Kjeldahl%E2%80%9D-AOAC-Official-Method-2001-11#page=28>. Fecha de consulta: Noviembre 15 de 2011.

desarrollo de microorganismos y una serie de reacciones de degradación típicas de los productos con actividad de agua elevada”<sup>32</sup>.

“En tal sentido el estudio de la cinética de secado de un producto brinda información útil para la industria de deshidratación de alimentos, y además contribuye para el diseño y simulación de secaderos”<sup>33</sup>. “La deshidratación de materiales frescos es un proceso complicado o complejo que involucra dos fenómenos, el primero de transferencia de masa y el segundo de transferencia de calor, los cuales ocurren simultáneamente en el interior del producto”<sup>34</sup>.

Lo anterior, ha conducido a realizar trabajos de investigación respecto al secado de alimentos, Carranza y Sánchez. (2002)<sup>35</sup>, utilizaron plátano de la variedad “dominico” y yuca de la variedad “señorita”, para someterlos a secado realizando varias pruebas, con diferentes temperaturas, diferentes velocidades de aire y variando el espesor del producto a secar, concluyendo que la temperatura a 50 °C y velocidad de aire de 7.62 m/s es la más apropiada para deshidratar plátano y yuca con un tiempo promedio de secado de 180 minutos.

Del mismo modo Gómez y otros (2005)<sup>36</sup> determinaron la cinética de secado del bagazo de naranja a tres temperaturas (60, 70 y 80 °C) hasta alcanzar la humedad de equilibrio a las condiciones empleadas, concluyendo que en el periodo de secado de velocidad constante los valores de la pendiente (velocidad de secado) fueron aumentando a medida que aumentó la temperatura del horno, obteniéndose la mayor velocidad a 80 °C (20.59 % humedad perdida/hora) y la menor a 60 °C (7.33 % humedad perdida/hora). El porcentaje de humedad promedio que mantuvo el material al final de cada temperatura fue de 6.82%, 2.59% y 1.41% para 60, 70 y 80 °C, respectivamente.

---

<sup>32</sup>GARCÍA, S.V.; SCHMALKO, M.E.; TANZARIELLO, A. Isotermas de adsorción y cinética de Secado de ciertas hortalizas y Aromáticas cultivadas en misiones. RIA, 36 (1): 115-129. INTA, Argentina. Abril2007.

<sup>33</sup>RATTI, C. (2001). Hot air and freeze drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering* 49: 311–319

<sup>34</sup>PEZZUTTI, A, CRAPISTE, GH. (1997). Sorptional equilibrium and drying characteristics of garlic. *Journal of Food Engineering*, 31(1), 113-123

<sup>35</sup>CARRANZA, J.; SÁNCHEZ, M. CINÉTICA DE SECADO DE *Musa paradisiaca* L. “PLÁTANO” Y *Manihot esculenta* Grantz “YUCA. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, v.2, nº 1, p. 15 - 25 (2002).

<sup>36</sup>GÓMEZ, C; MARTÍNEZ, H; GONZÁLEZ, N; LÓPEZ, J; PADILLA, D; TOVAR, X; CASTRO, J; CARRASCO, R. Cinética de Secado del Bagazo de Naranja en Función de la Temperatura con Aire Forzado. VII congreso nacional de Ciencia de los Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato. Gto. México. 2005.

En el mismo sentido Montes *Et al.*, (2008)<sup>37</sup> realizaron el secado de ñame en capa delgada, en diferentes variedades a diferentes temperaturas y velocidad de aire, esto lo realizaron en el laboratorio de Ingeniería Aplicada de la Universidad de Córdoba; lugar en el cual adecuaron las muestras en geometría de rodajas de radio 3,19 cm y diferentes espesores. Como resultado obtuvieron una disminución en el tiempo de secado, del 28,15 % de humedad para la temperatura de 70 °C.

Así mismo, en el estudio de García *Et al.*, (2007)<sup>38</sup>, determinaron la cinética de secado de hortalizas, variaron la temperatura, velocidad del aire. Esto les permitió realizar un diseño o una selección más eficiente de secaderos así como de las variables de proceso, concluyendo que con las curvas de cinética de secado se determinan los tiempos de secado necesario para alcanzar contenidos de humedad. Por tener estructura y formas diferentes, los tiempos variaron ampliamente encontrándose valores desde 82 minutos para el orégano y 250 minutos para el puerro.

En el mismo sentido Vega y Lemus (2006)<sup>39</sup> estudiaron el secado por aire caliente de papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*). Concluyendo que el proceso de secado presenta dependencia con la temperatura, exhibiendo además los periodos de inducción, velocidad constante y decreciente, alcanzando una humedad de equilibrio cercana a 0.05 g agua/g m. s. para cada temperatura de secado.

De la misma manera Ocampo (2006)<sup>40</sup> planteó una investigación cuyo objetivo fue encontrar un modelo que permitiera predecir el tiempo de secado de la pulpa de mango, con diferentes condiciones de temperatura, con una velocidad de aire constante de 2,0 m/s y una humedad relativa controlada de 50%.

---

<sup>37</sup>MONTES, E; TORRES R., ANDRADE R., PÉREZ O., MARIMON J., MEZA, I. Modelado de la cinética de secado de ñame (*dioscorea rotundata*) en capa delgada. Revista *Ingeniería e Investigación*, agosto, /vol. 28, número 002. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp. 45-52. 2008.

<sup>38</sup>GARCÍA, S.V.; SCHMALKO, M.E.; TANZARIELLO, A. Isotermas de adsorción y cinética de Secado de ciertas hortalizas y Aromáticas cultivadas en misiones. RIA, 36 (1): 115-129.. INTA, Argentina. Abril 2007.

<sup>39</sup>VEGA, A. y LEMUS, R. Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (*Vasconcellea pubescens*). Inf. Tecnol., La Serena, v.17, n.3, 2006. Disponible en [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642006000300005&Ing=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000300005&Ing=es&nrm=iso) .accedido en 30 jun. 2011.

<sup>40</sup>OCAMPO, A. Modelo cinético del secado de la pulpa de mango. Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 5. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia). p. 119-128. Junio 2006.

Igualmente Giraldo *et al* (2010)<sup>41</sup>, estudiaron la cinética del secado de la pulpa de cupuacu en forma de rodajas. Para ello utilizaron un secador de bandejas a temperaturas de 50, 60 y 70 °C y velocidad del aire de 1,5 m/s. De acuerdo con los datos de la cinética del secado se puede observar que cuanto mayor es la temperatura del secado mayor es la velocidad del secado.

López A. 1993<sup>42</sup>. “Realizó la cinética de secado en patata de la variedad (*Bintje*) cortada en láminas de 2,5 mm de espesor, secado en capa fina con diferentes temperaturas y velocidades de aire. Por otra en la evaluación nutricional de la oca (*oxalis tuberosa sara-oca*) fresca, endulzada la cual se deshidrató el tubérculo en un secador de bandejas, evaluaron el tiempo de secado a diferentes temperaturas y determinaron la humedad a la oca fresca, fresca deshidratada, endulzada y endulzada deshidratada”<sup>43</sup>.

Mendiola Roberto C. *Et al.*, 2005<sup>44</sup>. Deshidrataron rebanadas de papa y manzana en un secador de túnel, ensayando diferentes temperaturas y velocidades del aire de secado para determinar la rugosidad de los productos.

En cuanto a aspectos técnicos para la elaboración de harina de papa, Báez Juan G. *Et al.*, 1997<sup>45</sup> mencionaron que su estudio se centra en el comportamiento del secado de la papa, esta operación la llevaron a cabo en una estufa de convección forzada y estufa de vacío en forma de cubos de 5 mm y a diferentes temperaturas.

Estudios sobre retención de vitaminas, han indicado que evaluar los efectos de los tratamientos es de gran importancia. Los investigadores han utilizado el ácido ascórbico como indicador de calidad en frutas y verduras<sup>46</sup>, debido a que es un

---

<sup>41</sup>GIRALDO, A.; ARÉVALO, A.; SILVA, A.; SILVA, P.; VALDES, J.; PAVLAK, M. Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuacu (*Theobromagrandiflorum*) en rodajas. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 30(1): P. 179-182, jan.-mar. 2010.

<sup>42</sup>LÓPEZ A, VIRSEDA P, ABRIL J. Modelado de la Cinética de Secado de Patata Cortada en Láminas.1993

<sup>43</sup>CAJAMARCA, E. Evaluación Nutricional de la oca (*Oxalis tuberosa sara-oca*), Fresca, endulzada y deshidratada en secador de bandejas. Tesis de grado. Ecuador. 2010.

<sup>44</sup>CAMPOS, R.; HERNÁNDEZ, H.; ALAMILLA, L.; CHANONA, J.; GUTIÉRREZ, G. F. ENCB-IPN, Carpio Y PLAN DE AYALA S/N, C.P. Estudio de la rugosidad de un alimento durante el secado convectivo usando análisis fractal. XI congreso nacional de biotecnología y bioingeniería. 2005.

<sup>45</sup>BÁEZ, J., PÉREZ, A.; RIVERA, R. Obtención de harina de papa. Universidad autónoma metropolitana Unidad etapalapa.1997.

<sup>46</sup>AYHAN, Z., YEOM, H. W., ZHANG, Q. H., & MIN, D. B. Flavor, color and vitamin C retention of pulsed electric field processed orange juice in different packaging materials. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49.p. 2001.

compuesto bioactivo sensible, actuando como un criterio válido para otros componentes nutricionales u organolépticos.

Este nutriente sufre degradación durante los procesos de deshidratación con aire previamente calefaccionado<sup>47</sup>, por ende indica que tanto es afectada durante el secado, por esta razón se determinó el contenido de vitamina C. Esta vitamina es muy sensible a diversas formas de degradación, entre los numerosos factores que pueden influir en los mecanismos degradativos se pueden citar la temperatura, la concentración de sal y azúcar, el pH y el oxígeno<sup>48</sup>.

En el trabajo de Pirone (2002)<sup>49</sup>, se estudia la degradación del ácido ascórbico en función de la temperatura de deshidratación de frutos de rosa mosqueta.

Por otra parte Alvarez *Et al.*, (1983)<sup>50</sup>, determinó el contenido de Vitamina C total en la papa criolla, variedad Yema de Huevo (*Solanum phureja*, Juz et Buck) y se evaluaron las pérdidas durante la cocción y el freído.

---

<sup>47</sup> PIRONE.B.N.; OCHOA.M.R.; KESSELER. A. G y DE MICHELIS.A. Evolución de la concentración de ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación de frutos de la rosa mosqueta (*Rosa eglantheria* L.). Revista de Investigaciones Agropecuarias, RIA, 31 (1):85 a 98 ISSN 0325 – 8718, INTA, Argentina. P 85. 2002.

<sup>48</sup> *Ibíd.*, p 88.

<sup>49</sup> *Ibíd.*, p 85.

<sup>50</sup> ALVAREZ, I.; MAHECHA, G.; GUZMAN, R. Determinación cuantitativa de vitamina C y pigmentos y procesamiento de la papa criolla, variedad yema de huevo (*Solanum phureja* Juz et Buck). Revista colombiana de química. Vo 12, No. 29. P 1. 1983.

## 5. DISEÑO METODOLÓGICO

### 5.1 LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN Y OPERACIONES PRELIMINARES.

**5.1.1 Localización.** El proceso de secado se llevó a cabo a nivel experimental en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño sede Torobajo Pasto (Nariño). Altura 2527 m.s.n.m. con una temperatura media de 14°C.

**5.1.2 Materia prima.** La materia prima utilizada en esta investigación fue papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*) la cual se adquirió en la empresa PAPA SANA DE NARIÑO del municipio de Pasto ubicada en la calle 15 No 30A-31 barrio San Ignacio. La papa se transportó hacia la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño donde se realizaron procesos de adecuación y secado.

**Imagen 1. Recepción y pesaje papa variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*).**



Fuente: esta investigación.

**5.1.3 Limpieza y selección Materia prima.** Se realizó una adecuación de la papa, en la limpieza se eliminó sustancias sólidas presentes como residuos de tierra, palos, fibras, mediante procesos que incluyen lavado y cepillado. En la selección se tomó como referencia la norma técnica colombiana NTC 341<sup>51</sup>, en la cual se menciona: que la papa debe tener características externas e internas iguales, madura, bien formada, sin daños mecánicos (cortes, magulladuras, peladuras, roída y otras); libre de daños y defectos fisiológicos (arrugas, brotes, corazón hueco, corazón negro, cambios de coloración internos o externos, deformaciones, grietas, helada, verdeada y otras); libre de daños causados por patógenos (buba o

<sup>51</sup>ICONTEC, Industria Alimentaria. Papa para Consumo. (NTC 341).Clasificación: Bogotá 2003.

gangrena, forma o claveteado, gota, pudriciones: húmeda parda-seca, y otras enfermedades); libre de daños causados por insectos (chiza, gusano alambre, gusano blanco, minador del tubérculo, pulguilla, trozador, babosa y otras plagas).

**5.1.4 Tratamiento Materia prima.** Inicialmente a la materia prima se le realizó una desinfección en una solución de agua- hipoclorito de sodio a 50 ppm, luego se peló empleando una peladora de tubérculos marca (INDUMATIC), posteriormente se tajó en láminas, en esta etapa se realizó una inmersión en bisulfito de sodio, según recomendaciones hechas por Berestain, C. *Et al.*, (1990)<sup>52</sup>, en proporción de 100 ppm teniendo en cuenta que el porcentaje de contenido de humedad de la materia prima es aproximadamente del 80%. Esto se realizó con el objetivo de evitar el pardeamiento enzimático que se favorece en la operación de secado, en otras palabras ayuda a que la harina de papa presente un aspecto agradable ante los ojos del público.

**Imagen 2. Limpieza y desinfección de papa parda pastusa (*Solanum tuberosum*).**

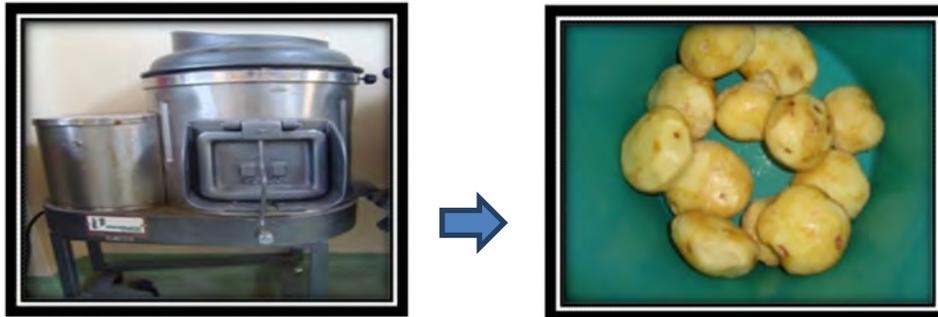


Fuente: esta investigación.

---

<sup>52</sup>BERESTAIN, C; VELÁZQUEZ, A; CORTES, R. Aprovechamiento de la papa de desecho en la obtención de harina integral para la elaboración de alimentos de consumo popular. En: archivos latinoamericanos de nutrición. Vol. 40. Nol. p.77. marzo.1990.

**Imagen 3. Pelado de papa en la peladora de tubérculos (INDUMATIC).**



Fuente: esta investigación.

**Imagen 4. Tajado e inmersión en bisulfito de sodio (láminas de papa).**



Fuente: esta investigación.

En esta etapa de inmersión en la solución (bisulfito de sodio- agua) se evidencio que la lámina de papa de la variedad parda pastusa gana humedad en promedio de un 10%.

**5.1.5 Análisis Bromatológico de la Materia prima.** Este análisis se realizó a la papa variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*) en fresco.

**Determinación Humedad.** Se empleó la metodología propuesta por Less, R., (1998)<sup>53</sup>.

---

<sup>53</sup>LESS, R.; Análisis de los Alimentos., 2ª ed., Ed. Acribia S.A., Madrid. 1988.

**Imagen 5. Determinación Humedad.**



Fuente: Esta investigación.

**Ceniza:** Metodología propuesta por (Ramírez, Inés. 1998).

**Imagen 6. Determinación de ceniza.**



Fuente: Esta investigación.

**Determinación de Grasa Bruta:** Metodología propuesta por (Less, R., 1998).

**Imagen 7.**Montaje para determinar grasa en la papa.



Fuente: Esta investigación.

**Proteína:** Método de Kjeldahl propuesta por (Ramírez, Inés. 1998).<sup>54</sup>

**Imagen 8.** Montaje para determinar proteína en la papa.



Fuente: Esta investigación.

**Materia seca:** Metodología propuesta por (Ramírez, Inés. 1998).

---

<sup>54</sup>RAMÍREZ, I. Análisis de Alimentos. 3ª edición., Guadalupe Ed., Santa Fe de Bogotá. p. 313. 1998.

**Imagen 9. Determinación de materia seca.**

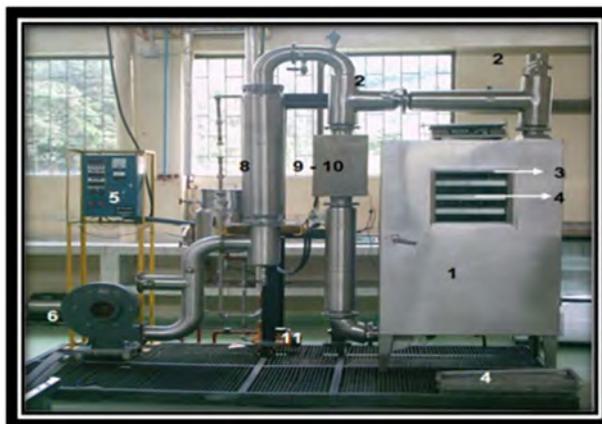


Fuente: Esta investigación.

## **5.2 DETERMINACIÓN CONDICIONES ADECUADAS PARA EL PROCESO DE SECADO**

**5.2.1 Secado de papa.** Las temperaturas de secado se basaron de acuerdo a la metodología usada por Carranza y Sánchez (2002)<sup>55</sup>. Para el proceso se utilizó un secador de bandejas con aire caliente construido por (INDUSTRIAS QUIMICAS FIQ LTDA) con capacidad de 10 bandejas móviles de 50 x 50 x 5 cm, instalado en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño, el cual se describe a continuación:

**Imagen 10. Secador de bandejas con aire caliente planta piloto.**



Fuente: Esta investigación.

<sup>55</sup>CARRANZA, Jorge y SÁNCHEZ, Manuel. CINÉTICA DE SECADO DE *Musa paradisiaca* L. "PLÁTANO" Y *Manihot esculenta* Grantz "YUCA Revista Amazónica de Investigación Alimentaria, v.2, nº 1, p. 15 – 25. 2002.

## Partes

- ✓ Cámara de secado: Consta de 10 bandejas móviles en acero inoxidable 304, de 50 x 50 x 5 cm, extractor de aire de 100CFM, resistencia para calentamiento de aire de 4 kW, lámina de lana de vidrio para aislamiento de cámara de secado, damper para regular el caudal de aire.
- ✓ Damper.
- ✓ Ventana de vidrio.
- ✓ Bandejas: Tipo móvil de 50 x 50 x 5 cm.
- ✓ Tablero de control: Consta de amperímetro, controlador de temperatura, selector de temperatura, temporizador, interruptor general.
- ✓ Soplador: De  $\frac{3}{4}$  HP de potencia y con un flujo máximo de 800 m<sup>3</sup>/h, el flujo de aire se puede modificar cambiando la apertura del damper localizado a la salida del soplador.
- ✓ Tanque de alimentación: Posee una chaqueta para calentamiento con vapor y una válvula de seguridad con disparo a 25 psi. Su función se centra en modificar la temperatura del agua de alimentación a la torre humidificadora.
- ✓ Columna humidificadora: Se encuentra aislada térmicamente y está empacada con empaque de tercera generación.
- ✓ Panel de resistencias: Es una caja de acero inoxidable que incluye 8 resistencias de 8 kw.
- ✓ Cámara de acondicionamiento de aire: Permite variar la temperatura y la humedad relativa del aire a utilizar en la cámara de secado.
- ✓ Bomba de alimentación: De  $\frac{1}{2}$  HP, construida en hierro.

**5.2.2 Determinación de la velocidad del aire.** Para la determinación de la velocidad el aire se empleó un medidor medio ambiental marca ENVIROMETER™, modelo CC4332, el cual proporciona en un solo instrumento un anemómetro, higrometro, luxómetro y dos termómetros. (Imagen 11)

### Características:

#### Anemómetro:

80 a 5910 Pies/minuto (resolución 1), 0.4 a 30.0 m/s (resolución 0.1), 1.4 a 108.0 km/h (resolución 0.1), 0.9 a 67.0 millas/h (resolución 0.1), y 0.8 a 58.3 knots (resolución 0.1).

Precisión:  $\pm 3\%$  bajo 20 m/s y sobre 20 m/s  $\pm 4\%$ .

#### Higrometro:

Rango: 10.0 a 95.0% HR (resolución 0.1 % RH).

Precisión: bajo 70 %  $\pm 4\%$  RH y sobre 70 %  $\pm (4\%$  de la medida más 1.2 % RH).

**Luxómetro:**

Rango: 0 a 20,000 lux (resolución 1 lux) y de 0 a 2000 foot candles (resolución 1 fc).

Precisión:  $\pm 5\%$  de la medida y  $\pm 8$  dígitos.

**Sensor termómetro interno ambiental:**

Rango: 32.0 to 122° Fahrenheit y 0.0 to 50.0° Celsius (resolución 0.1°)

Precisión:  $\pm 1.2^\circ$  C.

**Termómetro externo:**

Rango: - 148.0 a 2372 °Fahrenheit y - 100.0 a 1300 °Celsius (resolución 0.1 °)

Precisión:  $\pm (1\%$  de la medida mas 1°C).

**Imagen 11. Medidor medioambiental.**

Fuente: Esta investigación.

**5.2.3 Diseño de experimentos.** Basándose en el proceso de secado, la revisión de literatura y partiendo de las principales operaciones que intervienen en éste, con sus respectivas variables, se concluyó que los factores de estudio son: la temperatura, el tamaño del material a secar y la velocidad del aire, debido a que estos factores afectan directamente la humedad y el tiempo de secado que influyen en las características sensoriales como son color y textura.

El procedimiento para formular el diseño experimental fue el siguiente:

- ✓ **Evaluación del sistema:** Secado de papa (Cinética de secado.)
- ✓ **Identificación de respuestas a obtener:** Humedad y tiempo.
- ✓ **Identificación de variables o factores a considerar y niveles a aplicar:** las variables y sus niveles se indican en la Cuadro 3.

**Cuadro 3. Identificación de variable y sus niveles.**

<b>FACTOR O VARIABLE</b>	<b>NIVELES</b>		<b>UNIDADES</b>
Temperatura	40	60	° C
Velocidad de aire	5	10	m/s
Espesor de partícula	0,2	0,4	cm

Fuente: Esta investigación.

El tipo de diseño experimental a utilizar fue un diseño factorial de experimentos  $2^3$  con 3 factores, el cual se realizó por triplicado para un total de 24 experimentos como se indica en la Cuadro 4, el diseño experimental y el análisis de resultados fue realizado con ayuda del programa Statgraphics centurión © Plus versión XV.II mediante el cual se realizó el análisis de varianza a un 5% de nivel de significancia.

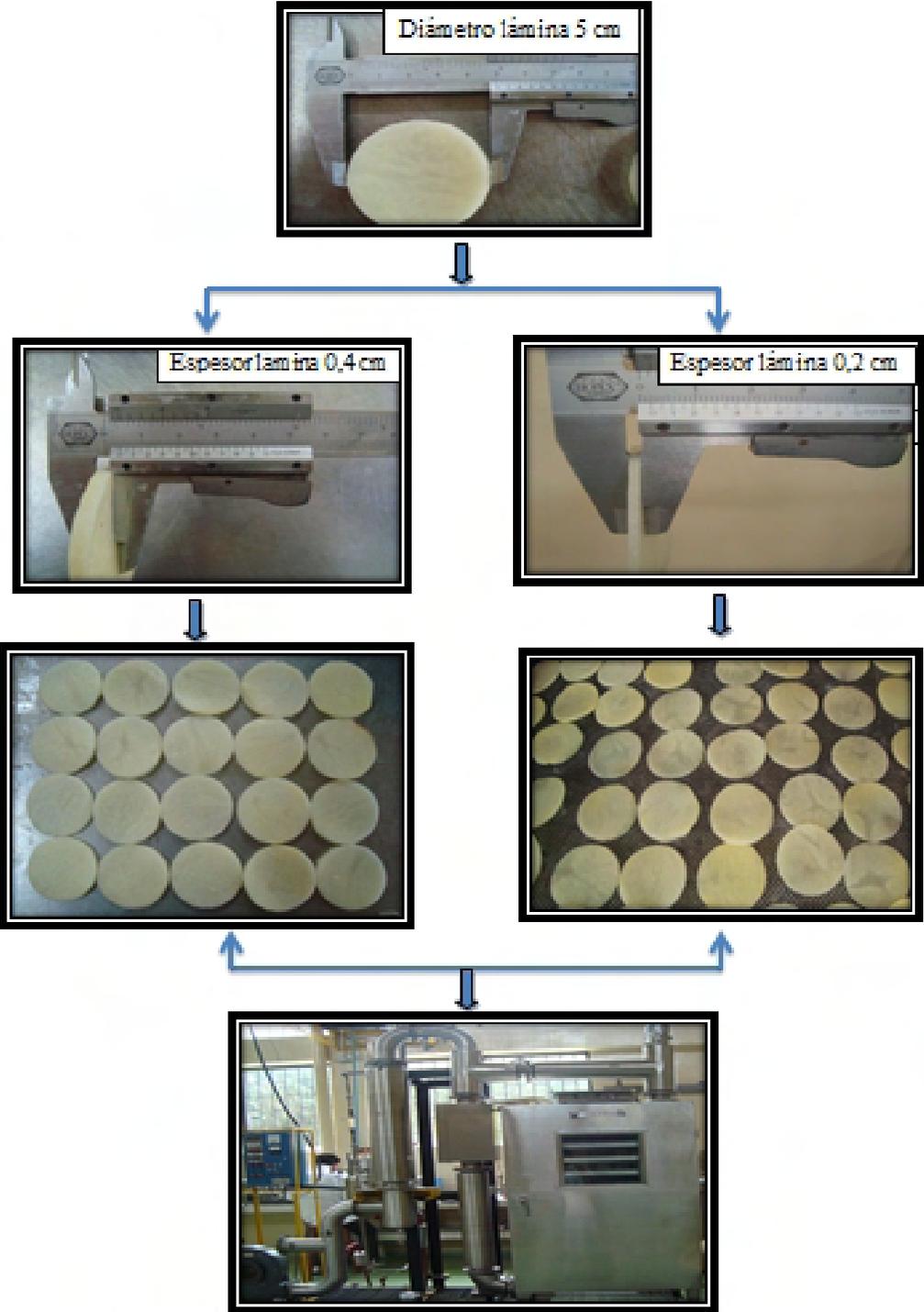
**Cuadro 4. Matriz de experimentos para el secado de papa.**

<b>No. De Experimentos</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidad de aire (m/s)</b>	<b>Espesor Lámina de papa (cm)</b>
1	60	10	0,4
2	60	5	0,2
3	60	5	0,4
4	40	5	0,4
5	60	10	0,2
6	40	10	0,2
7	40	10	0,4
8	40	5	0,2
9	60	10	0,4
10	60	5	0,2
11	60	5	0,4
12	40	5	0,4
13	60	10	0,2
14	40	10	0,2
15	40	10	0,4
16	40	5	0,2
17	60	10	0,4
18	60	5	0,2
19	60	5	0,4

20	40	5	0,4
21	60	10	0,2
22	40	10	0,2
23	40	10	0,4
24	40	5	0,2

Fuente: esta investigación.

Imagen 12.Tratamientos propuestos.



Fuente: Esta investigación.

**5.2.4 Cálculo de humedad y tiempo de secado.** La pérdida de humedad se determinó pesando una lámina de papa de cada bandeja, esto se realizó por intervalo de 15 minutos, mediante el uso de la siguiente ecuación<sup>56</sup>:

**Ecuación 1.** Cálculo de Humedad en porcentaje.

$$Xi = \frac{W - Ws}{W} \cdot 100$$

**Dónde:**

*Xi = Humedad del sólido*

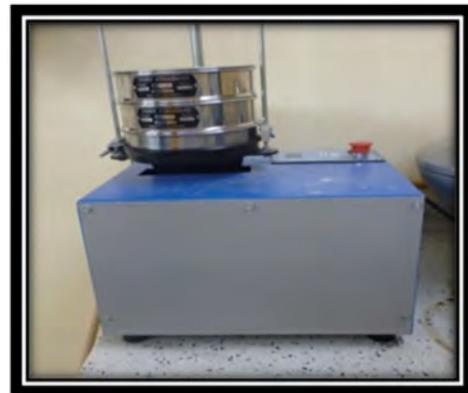
*W = Peso del sólido húmedo*

*Ws = Peso del sólido seco*

**Tiempo:** El tiempo de secado se determinó cuando las muestras de papa alcanzaron peso constante.

**5.2.5 Molido y Tamizado de las hojuelas de papa seca.** Las láminas de papa se molieron con un molino de martillos (HSIAO LIN MACHINE modelo 61060) y finalmente tamizado para ello se empleó una tamizadora modelo (PS-35 serie 1182) y la serie de tamices A.S.T.M.E No 80, por espacio de 5 minutos, según la NTC 267<sup>57</sup> harina de trigo, la cual exige que debe pasar como mínimo el 98% de harina por un tamiz de 212  $\mu$ m-ISO (No. 70 U.S.A Standard, según la AOAC) No 70U.S.A por esta razón se toma el mismo parámetro para el caso de la harina de papa.

**Imagen 13. Molido de las hojuelas de papa secas y Tamizado de la harina.**



Fuente: Esta investigación.

<sup>56</sup> PERRY, R. Chemical engineers handbook.. (Ed.). New York: Mc Graw- Hill. 1999.

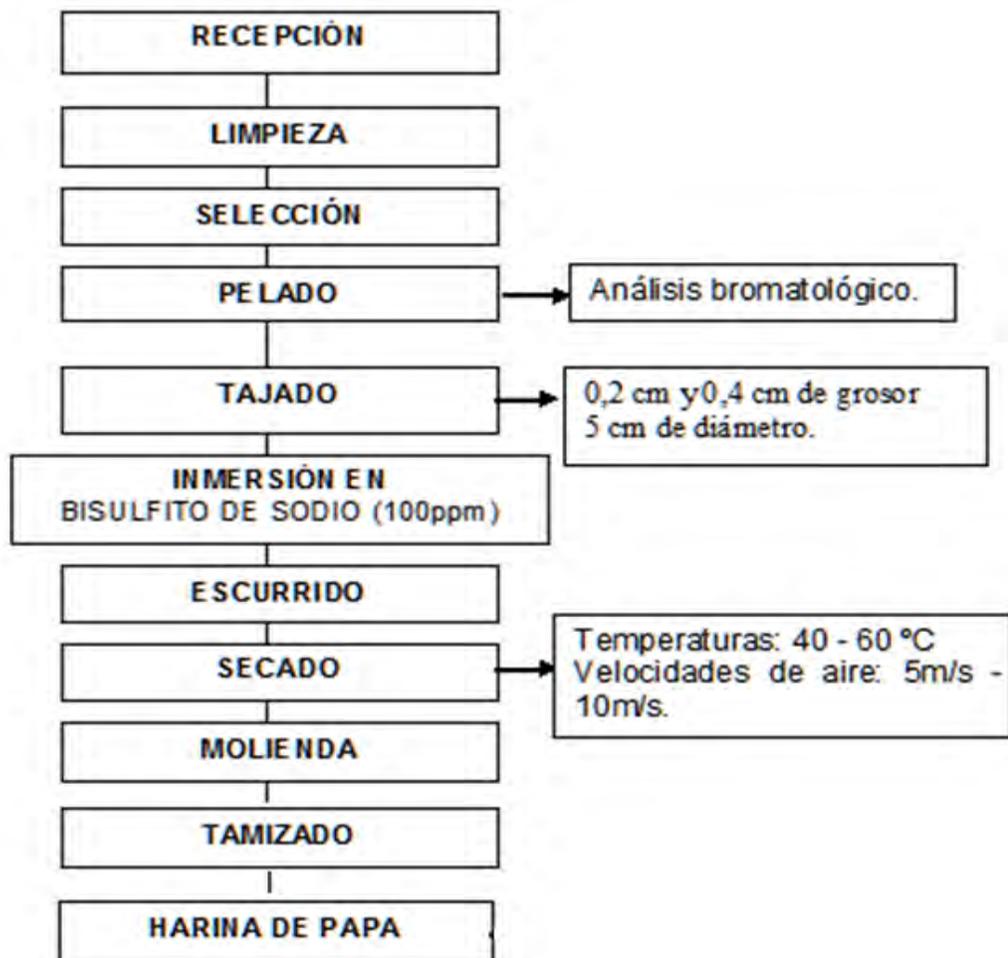
<sup>57</sup>ICONTEC, Harina de trigo. (NTC 267). Bogotá 2007.

Imagen 14. Harina de papa parda pastusa.



Fuente: Esta investigación.

Figura 4. Diagrama de flujo propuesto para la determinación de las condiciones adecuadas del secado de la papa variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*).



Fuente: Esta investigación.

### 5.3 OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE SECADO DE PAPA

**5.3.1 Diseño de experimentos.** Se utilizó un diseño compuesto central:  $2^2 +$  estrella, el cual se llevó a cabo por triplicado para un total de 30 experimentos como se indica en la Cuadro 6.

El diseño experimental y el análisis de resultados fue realizado con ayuda del programa Statgraphics centurión © Plus versión XV.II mediante el cual se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación mediante la LSD de Fisher a un 5% de nivel de significancia

**Cuadro 5. Identificación de variables y sus niveles para la optimización.**

FACTOR	-1,68179	-1	0	1	1,68179
Temperatura (°C)	48	50	54	58	59
Velocidad de aire (m/s)	5	6	8	10	11

Fuente: Esta investigación.

El espesor de la lámina se fijó en 0,2 cm.

**Cuadro 6. Matriz experimental para la optimización del secado de papa.**

Experimento	Temperatura (°C)	Velocidad de aire (m/s)
1	48	8
2	48	8
3	48	8
4	50	10
5	50	10
6	50	10
7	50	6
8	50	6
9	50	6
10	54	8
11	54	8
12	54	8
13	54	5
14	54	5
15	54	5
16	54	11
17	54	11
18	54	11
19	54	8
20	54	8
21	54	8
22	58	6
23	58	6
Experimento	Temperatura (°C)	Velocidad de aire (m/s)
24	58	6
25	58	10
26	58	10
27	58	10
28	59	8
29	59	8
30	59	8

Fuente: Esta investigación.

**5.3.2 Análisis fisicoquímico.** (Sensorial y bromatológico a la harina de papa óptima). Este análisis se lo realizó a la harina de papa que haya presentado los mejores resultados bajo las condiciones de secado estudiadas.

**Análisis Sensorial:** Para determinar el nivel de aceptación de la harina de papa, se utilizó la Prueba de Preferencia en función del atributo de aceptabilidad con 10

panelistas, la prueba de preferencia se evaluará mediante el método de escala Hedónica descrito por Anzaldúa<sup>58</sup>

La prueba de aceptación se la realizó por el método escala Hedónica de 5 puntos. Se calificó las siguientes características; color y textura, donde cada panelista eligió entre las siguientes opciones y puntajes de 1 a 5: me gusta mucho (5), me gusta (4), me es indiferente (3), me disgusta (2) y me disgusta mucho (1), la encuesta a aplicar se muestra en la Cuadro 7.

Los resultados se analizaron con la ayuda del programa statgraphics<sup>®</sup> centurión XV<sup>59</sup>. Con el cual se realizó el análisis de varianza para determinar si hubo diferencia estadística significativa entre los diferentes tratamientos de secado de papa.

**Cuadro 7. Respuestas de color, textura y aceptación de la harina de papa.**

Nombre: \_\_\_\_\_

No de experimento de secado de harina de papa: \_\_\_\_\_

CARACTERISTICAS	COLOR	TEXTURA	ACEPTACION
	VALOR	VALOR	VALOR
ME GUSTA MUCHO			
ME GUSTA			
INDIFERENTE			
ME DISGUTA			
ME DISGUSTA MUCHO			

Fuente: Anzaldúa. 1994.

**Análisis Bromatológico harina de papa óptima.** Se procedió según lo expuesto en el numeral 2.1.1.

<sup>58</sup> ANZALDÚA, M. A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica: en lengua española. Zaragoza (España): Acribia, S. A. P.123-157. 1994

<sup>59</sup> Statgraphics centurion (CD-ROM). Copyright by statistical graphics corporation. Estados Unidos.

## 5.4 CINETICA DE SECADO

**5.4.1 Fenomenología del aire de secado.** El cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección, se realizó según el método propuesto por Treybal (1981)<sup>60</sup>.

**Ecuación 2.** Cálculo de Coeficiente convectivo  $h_c$ .

$$h_c = 24,2 G^{0,37} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

**Ecuación 3.** Cálculo de Velocidad másica G.

$$G = \text{Velocidad de aire} * \text{densidad del gas} \quad [Kg/(m^2 s)]$$

**Ecuación 4.** Cálculo de densidad del gas.

$$P_{gas} = \frac{1.0 + 0,0129}{V_H} \quad \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

**Ecuación 5.** Cálculo de Volumen húmedo  $V_H$ .

$$V_H = (0,00283 + (0,00456 * 0,0129)) * (T + 273 K) \\ [m^3]/(Kg \text{ aire seco})$$

**5.4.2 Curvas de secado.** Las curvas de secado se trazaron de acuerdo con la metodología propuesta por Geankoplis (1995)<sup>61</sup>, que consta de los siguientes pasos: los datos obtenidos del experimento de secado por lotes se expresan como peso total W del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos. Estos valores pueden convertirse a datos de velocidad de secado con los siguientes procedimientos.

Primero se calculan los datos: pasando el peso de la lámina de papa húmeda, entonces, W es el peso del sólido húmedo en kg totales de agua más sólido seco y  $W_s$  es el peso del sólido seco en kg.

Usando los datos calculados con la ecuación 1., se traza una gráfica del contenido de humedad en función del tiempo "t" en minutos. Para obtener una curva de

<sup>60</sup>TREYBAL, R.E. Operaciones de transferencia de masa. 2ª. Edición. McGraw-Hill, México D.F., México.p 858. 1980

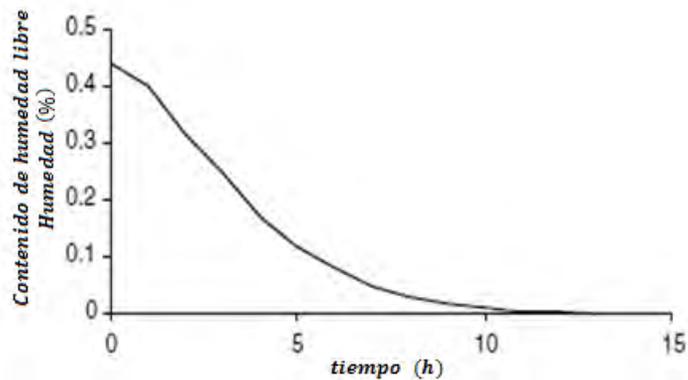
<sup>61</sup>GEANKOPLIS, C. J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 2ª Edición, Editora Continental, México D.F., México 1995.

velocidad de secado, se calcula la diferencia de tiempo y la diferencia de humedades, por lo tanto se calcula la velocidad de secado conforme a la siguiente ecuación:

**Ecuación 6.** Cálculo de velocidad de secado R.

$$R = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

**Figura 5.** Contenido de humedad en función del tiempo de secado.



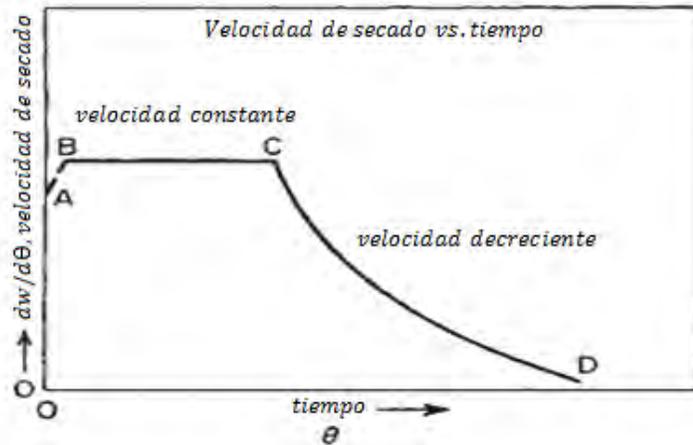
Fuente: Barbosa, G.e Ibarz, A.2002.<sup>62</sup>.

“A partir de los datos obtenidos durante el secado, se puede graficar una curva de contenido de humedad en función del tiempo (Fig. 5). Esta será directamente útil para determinar el tiempo necesario para secar grandes lotes en las mismas condiciones de secado”<sup>63</sup>

<sup>62</sup>BARBOSA, G.; IBARZ, A. Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. 2002.

<sup>63</sup> MC CABE, W.; SMITH, J.; HARRIOTT, P. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química.4 ed. p 832. 1991.

Figura 6. Curva de velocidad de secado en función del tiempo.



Fuente: PERRY (1999)<sup>64</sup>.

La curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante<sup>65</sup>. Empezando en el tiempo cero, el contenido inicial de humedad corresponde al punto A. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación va en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura alcanza la velocidad constante hasta el punto C, luego se curva hacia abajo y, eventualmente, cuando el material llega hasta su contenido de humedad de equilibrio, alcanza el valor cero, punto D. Generalmente hay dos partes principales en la curva de rapidez, un periodo de velocidad constante y uno de velocidad decreciente<sup>66</sup>.

<sup>64</sup> PERRY, R. Chemical engineers handbook.. (Ed.). New York: Mc Graw- Hill.1999.

<sup>65</sup> Ibid., p 12-13.

<sup>66</sup> TREYBAL, R.E. Operaciones de transferencia de masa. 2ª. Edición. McGraw-Hill, México D.F., México. p 737. 1980.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 6.1 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL VEGETAL.

**6.1.1 Material vegetal.** La papa de la variedad parda pastusa, presentó las siguientes características: el color de la piel es marrón pardo, la pulpa presenta un color blanco en forma predominante. La forma del tubérculo es redonda y los ojos son muy poco profundos (ver imagen 14), para efectos de esta investigación se utilizó papa que según la NTC 341<sup>67</sup>, se clasifica como mediana con un diámetro en milímetros entre 45 mm y 64 mm, lo anterior debido a que este rango se encuentra el diámetro requerido para esta investigación.

**Imagen 15. Papa de la variedad parda pastusa.**



Fuente. Esta investigación.

**6.1.2 Pérdidas en el pelado.** El pelado mecánico del tubérculo arrojó como resultado pérdidas en cáscara del 13,113% significativo considerando que por cada 100 Kg procesados 13 Kg son desechos que no presenta utilidad (cáscaras), (ver Cuadro 8).

**Cuadro 8. Pérdidas en el pelado.**

Característica	Promedio*	Desviación	Cv%
Cáscara	13,113	1,012	7,661

Fuente: Esta investigación.

<sup>67</sup> ICONTEC, Industria Alimentaria. Papa para Consumo. Clasificación: (NTC 341). Bogotá 2003

Los anteriores resultados son similares a los reportados por Koduvayur *et al.*, (2010)<sup>68</sup>, quienes mencionan que las pérdidas causadas por el pelado (mecánico) en promedio son del 12% y los reportados por Cerón y Solarte (2011)<sup>69</sup> quienes encontraron en promedio 12,76% para la papa variedad parda pastusa.

**6.1.3 Análisis bromatológico papa fresca variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*).** Los resultados obtenidos son similares a los reportados por la FAO (2009)<sup>70</sup>, con respecto a la humedad entre el 72 y 75%, proteína entre el 2 y 2,5%.

**Cuadro 9. Análisis bromatológico de papa fresca variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*). (g/100g).**

Componente	Papa parda pastusa*			Cv%
% Humedad	72,583	±	0,373	0,514
% Proteína cruda	2,42	±	0,141	5,826
% Grasa	0,126	±	0,011	8,730
% Ceniza	0,939	±	0,065	6,924
%Materia Seca	27,417	±	0,373	1,360

\* Valores promedios (n = 3) ± desviación estándar

Fuente: Esta investigación.

**Cuadro 10. Análisis bromatológico de papa fresca variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*). (g/100g), recalculada en base seca.**

Componente	Papa parda pastusa*			Cv%
% Humedad	13	±	0,373	0,514
% Proteína cruda	6,4	±	0,141	5,826
% Grasa	0,33	±	0,011	8,730
% Ceniza	2,49	±	0,065	6,924
%Materia Seca	83	±	0,373	1,360

Valores promedios (n = 3) ± desviación estándar

<sup>68</sup>KODUVAYUR, H. S., SKALL, N. N., JACOBSEN, C. Antioxidant Activity of Potato Peel Extracts in a Fish-Rapeseed Oil Mixture and in Oil-in-Water Emulsions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 87, No. 11. p. 1319-1332. 2010.

<sup>69</sup>CERON, A y SOLARTE, D., Plan de negocios para la creación de una empresa agroindustrial, productora de pan y galletas a partir de harina de papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*) como sustituto parcial de la harina de trigo, en el municipio de Pasto departamento de Nariño. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Agroindustrial., Universidad de Nariño. Pasto, 2011.

<sup>70</sup>FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Año Internacional de la Papa 2008. Nueva luz sobre un tesoro enterrado. Roma. p. 24. 2009.

Fuente: Esta investigación.

Los datos bromatológicos en base seca fueron recalculados con balances, ya que una papa mediana está pesando entre 150 y 170 g según la NTC 341<sup>71</sup>, con un diámetro entre 45 mm y 64 mm, y con una humedad de 13%<sup>72</sup>.

Ahora bien es importante mencionar, La calidad del tubérculo de la papa está íntimamente relacionada con su composición química, y en esto influyen diversos factores como son: la variedad, el clima, los sistemas de manejo, el año agrícola, la zona de procedencia, la fisiología, el almacenamiento, y el estado post-cosecha<sup>73</sup>.

Aun así en términos generales la papa es un alimento saludable fuente de proteína de alto valor biológico<sup>74</sup>, tiene una relación favorable de caloría proteínica y caloría total, y fuente importante de vitaminas y minerales<sup>75</sup>, especialmente la vitamina C, aminoácidos esenciales como la lisina y minerales principalmente fósforo, potasio y calcio<sup>76</sup>, convirtiéndola en un cultivo estratégico en la producción de alimentos a nivel mundial<sup>77</sup>.

---

<sup>71</sup> ICONTEC, Industria Alimentaria. Papa para Consumo. Clasificación: (NTC 341). Bogotá 2003.

<sup>72</sup> ICONTEC, Harina de trigo. (NTC 267). Bogotá 2007.

<sup>73</sup>BROWN, C; WROLSTAD, R.; YANG, C. y CLEVIDENCE, B. Breeding studies in potatoes containing high concentration of anthocyanins. American Journal of Potato Research. 80: 241-250. 2003.

<sup>74</sup>WOOLFE, J. A. The potato in the human diet. Cambridge University Press. Cambridge, Landan, p. 231. 1987.

<sup>75</sup> ANDRE, C.; GHISLAIN, M.; BERTIN, P.; OUFIR, M.; HERRERA, M.; HOFFMANN, L.; HAUSMAN, J.; LARONDELLE, Y. Y EVERS, D. Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) as a source of antioxidant and mineral micronutrients. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55 (2). p.366- 378. 2007.

<sup>76</sup>LARRAIN, P. Plagas de la papa y su manejo. ed. Larraín, P. La Serena, Chile. Colección libros. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 9. 110 p. 2003.

<sup>77</sup>QUINTERO, I., MONTERO, F., ZAMBRANO, J., MEZA, N., MAFFEI, M., VALERA, A., Y ALVAREZ, R. Evaluación de once clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el estado Trujillo. I Crecimiento, desarrollo y rendimiento. Rev. Fac. Agron., vol.26, no.3, p.362-381. 2009.

## 6.2 FENOMENOLOGÍA DEL AIRE DE SECADO

**Cuadro 10. Fenomenología del aire a condiciones de secado estudiadas para la papa parda pastusa (*Solanum tuberosum*).**

Temperatura °C	Velocidad de aire m/s	Velocidad másica (G) (Kg/m <sup>2</sup> s)	Coefficiente convectivo (hc) (W/m <sup>2</sup> K)
60	10	11,053	58,871
40	10	11,120	59,003
60	5	6,053	47,113
40	5	6,120	47,306
50	10	11,086	58,935
54	10	11,072	58,909
58	10	11,059	58,884
48	8	9,092	54,768
54	8	9,072	54,723
59	8	9,056	54,687
50	6	7,086	49,941
54	6	7,072	49,906
58	6	7,059	49,872
54	5	6,072	47,169

Fuente: Esta investigación.

Los valores de velocidad másica (G) y del coeficiente convectivo de transferencia de calor (hc), disminuyen al aumentar la temperatura, ya que el aire circulante se expande con un incremento de la temperatura, el valor más bajo de G y hc se obtienen a una temperatura de 60°C y velocidad de aire de 5 m/s, pero a esta temperatura se obtiene humedades bajas, por el contrario el coeficiente más alto se obtuvo a una temperatura de 40°C, pero en estos ensayos los tiempos de secado son largos, datos similares reporta (Carranza y Sánchez. 2002)<sup>78</sup>.

Datos centrados de coeficientes convectivos de transferencia de calor y velocidad másica se obtuvieron en los ensayos de optimización.

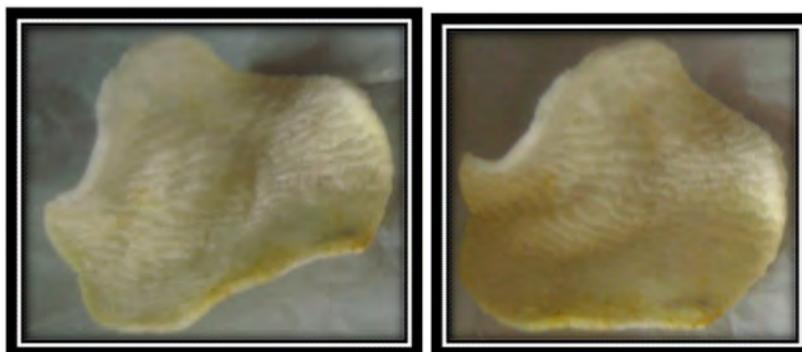
## 6.3 DETERMINACIÓN CONDICIONES DE SECADO DE PAPA

Se realizó ensayos a temperaturas superiores a 60°C, observando que las láminas de papa adquieren un color amarillo quemado como se indica en la imagen 16, las

<sup>78</sup> CARRANZA, J. Y SÁNCHEZ, M. Cinética de secado de *Musa paradisiaca* L. "plátano" y *manihote sculentagrantz* "yuca. Revista amazónica de investigación alimentaria, v.2, nº 1, p. 15 – 25. 2002.

láminas de papa a estas temperaturas se queman muy rápido, además que se corre el riesgo que presente pérdidas en las propiedades nutricionales y cambios en la calidad sensorial, también se ensayó a velocidades de aire mayores a 10 m/s pero dentro del secador las láminas llegaban a flotar, por ende no se recomienda trabajar a temperaturas y velocidades de aire muy altas.

**Imagen 16. Lámina de papa sometida a temperaturas superiores a 60°C.**



Fuente. Esta investigación.

Bajo el resultado anterior, se procedió de acuerdo al trabajo realizado por Carranza y Sánchez (2002)<sup>79</sup>. Estudiando temperaturas de 40 a 60 °C y velocidades de aire de 5 a 10 m/s, (Cuadro 11, matriz de experimentos).

---

<sup>79</sup>CARRANZA, J. y SÁNCHEZ, M. Cinética de secado de *Musa paradisiaca* L. "plátano" y *manihote sculenta* grantz "yuca. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, v.2, nº 1, p. 15 – 25. 2002.

**Cuadro 11. Matriz de experimentos para el secado de papa con sus variables respuestas Humedad y Tiempo de secado.**

No. De Experimentos	Temperatura (°C)	Velocidad de aire (m/s)	Espesor Lámina (cm)	Humedad (%)	Tiempo (min)
1	60	10	0,4	12,171	465
2	60	10	0,4	11,452	450
3	60	10	0,4	12,639	480
4	60	10	0,2	9,558	345
5	60	10	0,2	9,698	360
6	60	10	0,2	9,424	330
7	60	5	0,4	12,298	510
8	60	5	0,4	11,923	495
9	60	5	0,4	12,448	525
10	60	5	0,2	10,57	405
11	60	5	0,2	9,602	390
12	60	5	0,2	10,83	420
13	40	10	0,4	13,487	840
14	40	10	0,4	13,496	825
15	40	10	0,4	12,624	810
16	40	10	0,2	12,951	735
17	40	10	0,2	12,81	720
18	40	10	0,2	12,575	660
19	40	5	0,4	13,170	840
20	40	5	0,4	13,940	915
21	40	5	0,4	13,237	900
22	40	5	0,2	13,233	765
23	40	5	0,2	13,578	780
24	40	5	0,2	12,222	750

Fuente: Esta investigación.

**Cuadro 12. Humedades promedios de secado (%). Ensayos 1 al 8.**

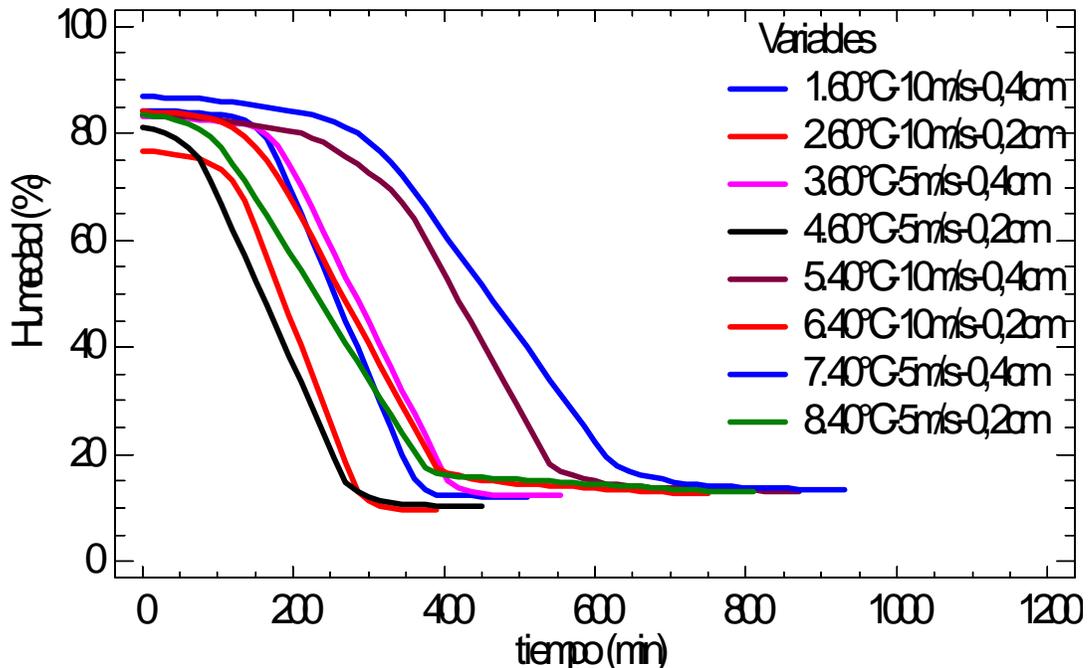
tiempo (min)	Humedad (%) Ensayo 1	Humedad (%) Ensayo 2	Humedad (%) Ensayo 3	Humedad (%) Ensayo 4	Humedad (%) Ensayo 5	Humedad (%) Ensayo 6	Humedad (%) Ensayo 7	Humedad (%) Ensayo 8
0	84,240	76,612	83,290	80,980	83,443	84,118	86,953	83,543
15	84,222	76,566	83,265	80,636	83,410	84,027	86,883	83,343
30	84,189	76,291	83,151	80,006	83,341	83,847	86,787	83,023
45	84,134	76,017	82,971	78,926	83,238	83,713	86,693	82,496
60	83,964	75,665	82,781	77,357	83,101	83,562	86,591	81,758
75	83,820	75,266	82,628	75,199	82,948	83,233	86,452	80,685
90	83,632	74,427	82,419	71,372	82,770	82,725	86,293	79,264
105	83,437	73,247	82,206	66,682	82,550	82,207	86,095	77,237
120	83,099	71,264	81,987	61,950	82,271	81,022	85,851	74,444
135	82,486	67,515	81,694	57,211	81,975	79,490	85,597	71,207
150	81,068	62,269	81,203	52,482	81,634	77,353	85,294	67,949
165	79,143	56,828	79,915	47,782	81,245	74,936	84,997	64,572
180	74,895	51,387	77,712	43,061	80,823	71,806	84,632	61,201
195	70,093	46,007	74,446	38,369	80,409	68,339	84,242	57,814
210	65,075	40,550	70,224	33,641	79,963	64,403	83,837	54,401
225	60,045	35,056	65,946	28,911	79,223	60,498	83,399	50,980
240	55,000	29,598	61,719	24,101	78,327	56,519	82,904	47,584
255	49,980	24,123	57,438	19,326	77,092	52,546	82,223	44,175
270	44,987	18,613	53,165	14,625	75,708	48,599	81,271	40,783
285	39,914	13,159	48,901	13,075	74,240	44,675	80,065	37,364
300	34,878	11,396	44,696	12,010	72,743	40,707	78,482	33,984
315	29,877	10,342	40,423	11,358	71,144	36,814	76,590	30,639
330	24,865	9,855	36,166	11,029	69,353	32,914	74,483	27,399
345	19,910	9,560	31,924	10,807	67,057	29,021	72,101	24,042

tiempo (min)	Humedad (%) Ensayo 1	Humedad (%) Ensayo 2	Humedad (%) Ensayo 3	Humedad (%) Ensayo 4	Humedad (%) Ensayo 5	Humedad (%) Ensayo 6	Humedad (%) Ensayo 7	Humedad (%) Ensayo 8
360	15,416	9,560	27,726	10,697	63,997	25,128	69,156	20,690
375	13,366	9,560	23,499	10,585	60,175	21,208	66,292	17,385
390	12,517	9,560	19,239	10,474	56,413	17,324	63,360	16,303
405	12,334		15,023	10,362	52,642	16,619	60,400	16,058
420	12,272		13,773	10,362	48,780	16,023	57,479	15,936
435	12,211		12,953	10,362	44,996	15,540	54,530	15,813
450	12,149		12,642	10,362	41,130	15,173	51,570	15,689
465	12,087		12,433		37,299	14,928	48,654	15,565
480	12,087		12,328		33,475	14,680	45,788	15,441
495	12,087		12,275		29,615	14,556	42,865	15,317
510	12,087		12,223		25,791	14,431	39,920	15,192
525			12,223		21,920	14,307	36,997	15,066
540			12,223		18,102	14,181	34,067	14,941
555			12,223		16,746	14,056	31,123	14,815
570					16,000	13,930	28,249	14,688
585					15,445	13,803	25,338	14,562
600					14,933	13,676	22,411	14,435
615					14,572	13,549	19,493	14,307
630					14,312	13,422	17,725	14,179
645					14,103	13,294	16,746	14,051
660					13,945	13,166	16,147	13,922
675					13,840	13,037	15,675	13,793
690					13,734	12,908	15,267	13,664
705					13,628	12,779	14,923	13,534
720					13,575	12,779	14,577	13,404
735					13,522	12,779	14,297	13,273

tiempo (min)	Humedad (%) Ensayo 1	Humedad (%) Ensayo 2	Humedad (%) Ensayo 3	Humedad (%) Ensayo 4	Humedad (%) Ensayo 5	Humedad (%) Ensayo 6	Humedad (%) Ensayo 7	Humedad (%) Ensayo 8
750					13,469	12,779	14,157	13,142
765					13,415		14,016	13,011
780					13,362		13,946	13,011
795					13,309		13,875	13,011
810					13,255		13,804	13,011
825					13,202		13,734	
840					13,202		13,663	
855					13,202		13,591	
870					13,202		13,520	
885							13,449	
900							13,449	
915							13,449	
930							13,449	

Fuente: Esta investigación.

**Grafico 1. Curvas de secado. Humedad en función del tiempo.**



Fuente: Esta investigación.

**6.3.1 Análisis curvas de humedad en función del tiempo, primer objetivo.** En las curvas experimentales de secado de la papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*), se aprecia la pérdida de humedad en función del tiempo gastado hasta alcanzar humedad constante, estos resultados son similares a los expuestos por Mc Cabe *et al.* (1991)<sup>80</sup> mediante las curvas de secado teóricas.

El análisis del grafico 1 muestra, que a temperaturas de 40 °C, asociadas a espesores de lámina de 0,4 cm y velocidad de aire de (5 ó 10 m/s) los tiempos de secado son largos 14,75 horas y 13,75 horas respectivamente, si se compara las dos curvas manteniendo constante los 2 primeros factores existe diferencia estadísticamente significativa ( $P_{valor} < 0,05$ ), asociada a la velocidad de secado, por ende a una mayor velocidad menor tiempo de secado.

De otra parte, bajo las condiciones de 60 °C, espesores de lámina de 0,2 cm y velocidad de aire de (5 ó 10 m/s), el tiempo en el cual se alcanza la humedad constante es de 6,75 horas y 5,75 horas respectivamente, al comparar las curvas en función de la velocidad de aire, se evidencia diferencia estadísticamente significativa ( $P_{valor} < 0,05$ ), a velocidad de 10 m/s, se alcanza la humedad constante en menor tiempo.

<sup>80</sup>MC CABE, W.; SMITH, J.; HARRIOTT, P. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4 ed. p 832. 1991.

Ahora bien, si se compara las condiciones anteriores se evidencia una clara diferencia significativa ( $P_{\text{valor}} < 0,05$ ), en donde esta última presenta clara superioridad en el tiempo de secado, en promedio se ahorraría 8 horas de secado.

Por otro lado, se evidenció en gráfico 1 curvas de secado en la zona intermedia de este, atribuidas a la combinación de factores: temperatura de 40 °C, asociadas a espesores de lámina de 0,2 cm con velocidad de aire de (5 ó 10 m/s) y temperatura de 60 °C, asociadas a espesores de lámina de 0,4 cm con velocidad de aire de (5 ó 10 m/s), lo anterior permite afirmar que la variación de la temperatura y el espesor de la lamina, manteniendo constante la velocidad de aire presentan un efecto significativo sobre el tiempo de secado, sin embargo las condiciones en las cuales la temperatura fue de 60 °C, lograron mejor resultado en el tiempo de secado, es decir la temperatura prevaleció sobre el espesor de la lamina, sin embargo los ensayos a temperatura de 60 °C, espesores de lámina de 0,4 cm y velocidad de aire de (5 ó 10 m/s) presentaron la formación de una costra en la parte central de la lámina, la cual no permite que la humedad se retire en su totalidad, como se indica en la imagen 16, Sandoval (2007)<sup>81</sup>, reportó resultados similares, en donde según Mc Cabe *et al.* (1991)<sup>82</sup> esta costra envuelve la mayor parte del material e impide la salida de humedad desde el interior, por esta razón se descartaron estos ensayos, por el contrario los ensayos con espesores de lámina de 0,2 cm, no presentaron este inconveniente y mostraron tiempos cortos y humedades bajas.

---

<sup>81</sup> SANDOVAL, G. Elaboración de Harina precocida de papa *Solanum tuberosum*, en autoclave, con las variedades Superchola y Gabriela, para consumo humano. Investigación realizada en la Unidad de Investigación en Tecnología en Alimentos, Centro de Investigación –CENI- de la Universidad Técnica de Ambato. 2007.

<sup>82</sup> MC CABE, W.; SMITH, J.; HARRIOTT, P. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4 ed. p 839. 1991.

**Imagen 17. Lámina de papa sometida a temperatura de 60°C, 0,4 cm de espesor y (10 ó 5 m/s) de velocidad de aire, presenta una costra en la parte central.**



Fuente. Esta investigación.

**Cuadro 13. Velocidades de secado promedios R (Kg  $H_2O$  / Kg material min). Ensayos 1 al 8.**

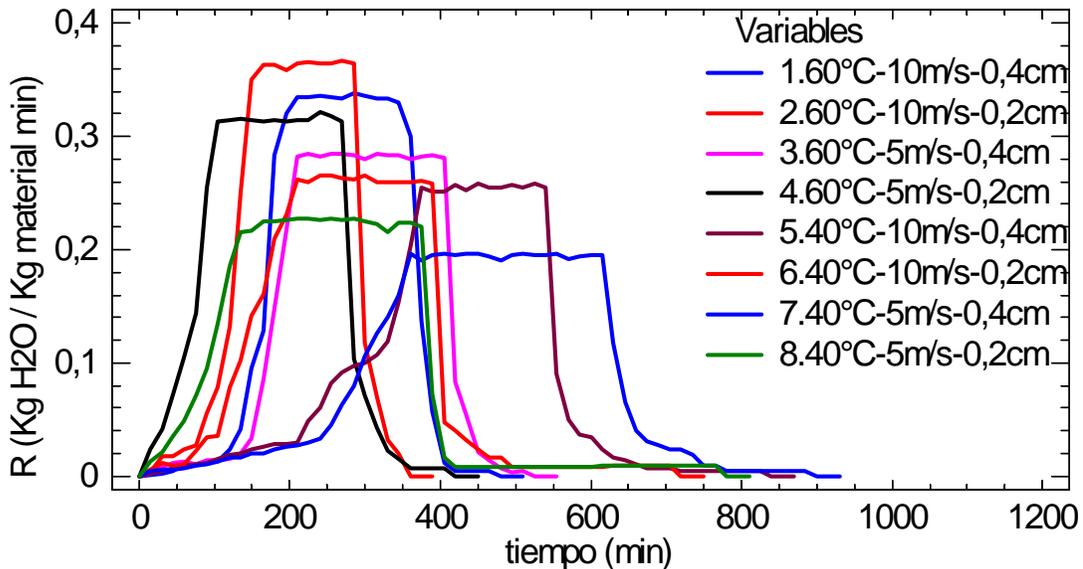
tiempo (min)	R Ensayo 1	R Ensayo 2	R Ensayo 3	R Ensayo 4	R Ensayo 5	R Ensayo 6	R Ensayo 7	R Ensayo 8
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15	0,001	0,003	0,002	0,023	0,002	0,006	0,005	0,013
30	0,002	0,018	0,008	0,042	0,005	0,012	0,006	0,021
45	0,004	0,018	0,012	0,072	0,007	0,009	0,006	0,035
60	0,011	0,023	0,013	0,105	0,009	0,010	0,007	0,049
75	0,010	0,027	0,010	0,144	0,010	0,022	0,009	0,071
90	0,013	0,056	0,014	0,255	0,012	0,034	0,011	0,095
105	0,013	0,079	0,014	0,313	0,015	0,035	0,013	0,135
120	0,023	0,132	0,015	0,315	0,019	0,079	0,016	0,186
135	0,041	0,250	0,020	0,316	0,020	0,102	0,017	0,216
150	0,095	0,350	0,033	0,315	0,023	0,142	0,020	0,217
165	0,128	0,363	0,086	0,313	0,026	0,161	0,020	0,225
180	0,283	0,363	0,147	0,315	0,028	0,209	0,024	0,225
195	0,320	0,359	0,218	0,313	0,028	0,231	0,026	0,226
210	0,335	0,364	0,282	0,315	0,030	0,262	0,027	0,227
225	0,335	0,366	0,285	0,315	0,049	0,260	0,029	0,228
240	0,336	0,364	0,282	0,321	0,060	0,265	0,033	0,226
255	0,335	0,365	0,285	0,318	0,082	0,265	0,045	0,227
270	0,333	0,367	0,285	0,313	0,092	0,263	0,063	0,226
285	0,338	0,364	0,284	0,103	0,098	0,262	0,080	0,228
300	0,336	0,118	0,280	0,071	0,100	0,265	0,106	0,225
315	0,333	0,070	0,285	0,043	0,107	0,260	0,126	0,223
330	0,334	0,032	0,284	0,022	0,119	0,260	0,140	0,216
345	0,330	0,020	0,283	0,015	0,153	0,260	0,159	0,224

tiempo (min)	R Ensayo 1	R Ensayo 2	R Ensayo 3	R Ensayo 4	R Ensayo 5	R Ensayo 6	R Ensayo 7	R Ensayo 8
360	0,300	0,000	0,280	0,007	0,204	0,260	0,196	0,224
375	0,137	0,000	0,282	0,007	0,255	0,261	0,191	0,220
390	0,057	0,000	0,284	0,007	0,251	0,259	0,195	0,072
405	0,012		0,281	0,007	0,251	0,047	0,197	0,016
420	0,004		0,083	0,000	0,257	0,040	0,195	0,008
435	0,004		0,055	0,000	0,252	0,032	0,197	0,008
450	0,004		0,021	0,000	0,258	0,024	0,197	0,008
465	0,004		0,014		0,255	0,016	0,194	0,008
480	0,000		0,007		0,255	0,016	0,191	0,008
495	0,000		0,003		0,257	0,008	0,195	0,008
510	0,000		0,004		0,255	0,008	0,196	0,008
525			0,000		0,258	0,008	0,195	0,008
540			0,000		0,255	0,008	0,195	0,008
555			0,000		0,090	0,008	0,196	0,008
570					0,050	0,008	0,192	0,008
585					0,037	0,008	0,194	0,008
600					0,034	0,008	0,195	0,008
615					0,024	0,008	0,195	0,009
630					0,017	0,009	0,118	0,009
645					0,014	0,009	0,065	0,009
660					0,011	0,009	0,040	0,009
675					0,007	0,009	0,031	0,009
690					0,007	0,009	0,027	0,009
705					0,007	0,009	0,023	0,009
720					0,004	0,000	0,023	0,009
735					0,004	0,000	0,019	0,009

tiempo (min)	R Ensayo 1	R Ensayo 2	R Ensayo 3	R Ensayo 4	R Ensayo 5	R Ensayo 6	R Ensayo 7	R Ensayo 8
750					0,004	0,000	0,009	0,009
765					0,004		0,009	0,009
780					0,004		0,005	0,000
795					0,004		0,005	0,000
810					0,004		0,005	0,000
825					0,004		0,005	
840					0,000		0,005	
855					0,000		0,005	
870					0,000		0,005	
885							0,005	
900							0,000	
915							0,000	
930							0,000	

Fuente: Esta investigación.

**Grafico 2. Curvas de Velocidad de secado. Velocidad de secado en función del tiempo. Ensayos 1 al 8.**



Fuente: Esta investigación

### 6.3.2 Análisis gráficas de velocidad de secado en función del tiempo primer objetivo:

- ✓ En el gráfico 2 se observa la velocidad en que se retiró la humedad de la lámina de papa, y se aprecia la humedad crítica al finalizar la velocidad constante, las humedades y velocidades promedio alcanzadas se evidencian en la Cuadro 14.
- ✓ Así mismo en el gráfico 2 se distinguen las tres etapas de secado; la primera se observa el periodo creciente en la que la velocidad de secado va en aumento, el producto se encuentra a una temperatura inferior a la que tendrá en el proceso, en la segunda etapa se observa el periodo de velocidad constante, este periodo en la curva de humedades en función del tiempo se encuentra en la pendiente la cual puede retirar agua en igual velocidad, la mayor parte del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior, hasta que llega a un punto donde no puede perder agua a la misma razón este punto se denomina humedad crítica, y comienza la tercera etapa que corresponde a un periodo de velocidad decreciente en la que se lleva a cabo la mayor parte del proceso.
- ✓ Se determinó que la mayor velocidad de secado se obtuvo a condiciones de 60°C, 10m/s y 0,2 cm de espesor  $R=0,362 \text{ Kg } H_2O / \text{ Kg material.min}$ , y la velocidad de secado más baja se obtuvo a 40°C, 5m/s y 0,4 cm de espesor de lámina de papa  $R=0,195 \text{ Kg } H_2O / \text{ Kg material.min}$ . Cuadro 14.

**Cuadro 14. Cuadro resumen de secado de papa parda pastusa (*Solanum tuberosum*)**

Ensayo No. *	Condiciones de secado (temperatura °C- Velocidad de aire m/s - espesor cm)*	*tiempo (min)	*Humedad (%)	*R (Kg $H_2O$ / Kg material. min)	*Humedad Crítica Hc (%)
1	60-10-0,4	465	12,087	0,327	15,416
2	60-10-0,2	345	9,560	0,362	13,159
3	60-5-0,4	510	12,223	0,283	15,023
4	60-5-0,2	405	10,362	0,315	14,625
5	40-10-0,4	825	13,202	0,255	18,102
6	40-10-0,2	705	12,779	0,262	17,324
7	40-5-0,4	885	13,449	0,195	19,493
8	40-5-0,2	765	13,011	0,224	17,385

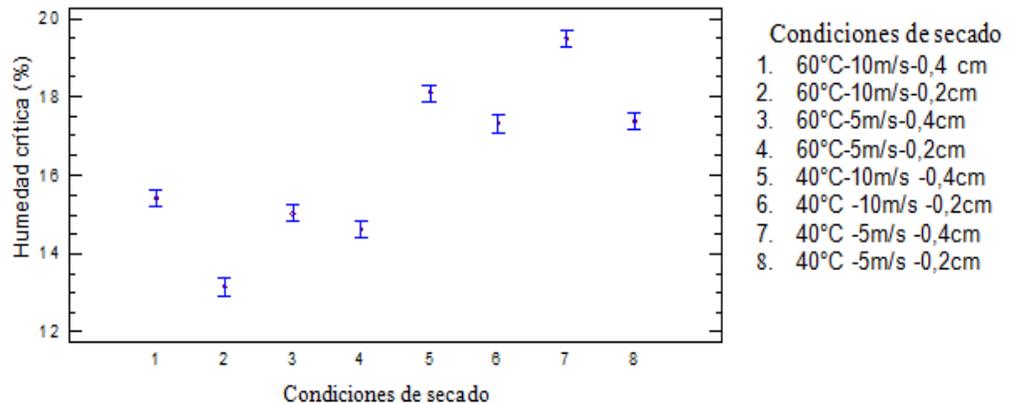
\* Valores promedios (n = 3)

Fuente: Esta investigación.

De otra parte, bajo las condiciones de estudio se determinó que la humedad crítica presenta diferencia estadísticamente significativa respecto a las condiciones de secado (Pvalor=0,000), (Cuadro 15).

Al mantener constante las condiciones de secado velocidad de aire y temperatura, se evidencia que el espesor de la lámina de papa es un factor relevante en la humedad crítica la cual varía conforme cambia este, encontrando que a espesores de 0,2 cm, hay una mayor pérdida de agua (Grafico 3).

**Grafico 3. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable % de humedad crítica.**



Fuente: Esta investigación.

**Cuadro 15. Prueba Múltiple de Rangos (método LSD 95,0%)**

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	Condiciones de Secado
2	3	13,159	X	1. 60°C-10m/s-0,4 cm
4	3	14,624	X	2. 60°C-10m/s-0,2cm
3	3	15,023	XX	3. 60°C-5m/s-0,4cm
1	3	15,416	X	4. 60°C-5m/s-0,2cm
6	3	17,324	X	5. 40°C-10m/s -0,4cm
8	3	17,385	X	6. 40°C -10m/s -0,2cm
5	3	18,102	X	7. 40°C -5m/s -0,4cm
7	3	19,49	X	8. 40°C -5m/s -0,2cm

Fuente: Esta investigación.

Con el desarrollo de la matriz de experimentos y con las gráficas de Humedad en función del tiempo y la gráfica de velocidad de secado en función del tiempo, se determinó que las mejores condiciones de operación mediante la técnica de secado con aire caliente fueron las siguientes:

- ✓ Espesor de lámina: 0.2 cm
- ✓ Velocidad de aire: entre 5 y 10 m/s
- ✓ Temperatura: 50 y 58 °C

Para llevar a cabo la optimización se tuvo en cuenta la humedad y el tiempo gastado para secar las láminas de papa, una vez obtenidos estos datos se procedió a realizar el diseño de optimización.

#### **Análisis de varianza condiciones de secado:**

Según las Cuadros ANOVA, los P-valores prueban la significancia estadística de cada uno de los factores, con un 95,0% de nivel de confianza.

En la Cuadro 16. se evidencia que tres P-valores son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la variable de respuesta porcentaje de Humedad.

**Cuadro 16. Análisis de Varianza para la variable de respuesta porcentaje de Humedad.**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Temperatura _°C_	25,441	1	25,441	113,01	0,0000
B:Velocidad de aire _m_s_	0,723148	1	0,723148	3,21	0,0909
C:Espesor Lámina _cm_	10,4465	1	10,4465	46,40	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0,0695527	1	0,0695527	0,31	0,5856
AC	4,73837	1	4,73837	21,05	0,0003
BC	0,146016	1	0,146016	0,65	0,4317

Fuente: Esta investigación.

En la Cuadro 17., se evidencia que tres P-valores son menores que 0,05, estos corresponden a los efectos principales los cuales tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la variable de respuesta tiempo de secado, mientras que cualquier interacción entre ellos no genera cambios en el secado es decir no son significativos (P-valor 0,05)

**Cuadro 17. Análisis de Varianza para la variable de repuesta Tiempo (min).**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Temperatura _°C_	793884,	1	793884,	1485,63	0,0000
B:Velocidad de aire _m_s_	18984,4	1	18984,4	35,53	0,0000
C:Espesor Lámina _cm_	81084,4	1	81084,4	151,74	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	84,375	1	84,375	0,16	0,6960
AC	84,375	1	84,375	0,16	0,6960
BC	84,375	1	84,375	0,16	0,6960

Fuente: Esta investigación.

#### 6.4 OPTIMIZACION DE LAS VARIABLES DE SECADO DE PAPA.

**Cuadro 18. Determinación de nuevos parámetros de secado**

<b>TEMPERATURA (°C)</b>	48	50	54	58	59
<b>VELOCIDAD DE AIRE (m/s)</b>	5	6	8	10	10

Fuente: Esta investigación.

El espesor de la lámina se fijó en 0,2 cm, ya que con 0,4 cm los tiempos son prolongados como se observó en los ensayos anteriores, así mismo en las nuevas condiciones de estudio espesores de 0,4 cm provocarían la formación de la costra en la superficie.

**Cuadro 19. Matriz experimental para la optimización del secado de papa con sus variables respuestas.**

No. de Experimento	Temperatura (°C)	Velocidad de aire (m/s)	Humedad (%)	Tiempo (min)	Color	Textura
1	48	8	12,607	585	4,4	4,4
2	48	8	12,589	570	4,3	4,3
3	48	8	12,480	600	4,5	4,5
4	50	6	12,470	540	4,5	4,4
5	50	6	12,416	555	4,6	4,5
6	50	6	12,349	570	4,4	4,3
7	50	10	12,337	525	4,3	4,4
8	50	10	12,306	510	4,2	4,3
9	50	10	12,449	540	4,4	4,5
10	54	5	12,278	510	4,3	4,3
11	54	5	12,212	480	4,4	4,4
12	54	5	12,201	495	4,2	4,2
13	54	6	12,721	465	4,4	4,2
14	54	6	12,108	450	4,5	4,5
15	54	6	11,735	480	4,4	4,3
16	54	8	12,014	465	4,1	4,3
17	54	8	12,021	465	4,3	4,7
18	54	8	12,008	465	4,7	4,2
19	54	10	11,822	450	4,4	4,4
20	54	10	11,901	435	4,4	4,3
21	54	10	12,042	420	4,4	4,5
22	58	6	11,496	375	4,4	4,5
23	58	6	11,576	390	4,3	4,4
24	58	6	11,694	360	4,6	4,6
25	58	10	10,776	345	4,7	4,4
26	58	10	10,808	345	4,4	4,3
27	58	10	10,331	345	4,3	4,5
28	59	8	10,243	345	4,5	4,3
29	59	8	10,314	360	4,5	4,2
30	59	8	10,210	330	4,3	4,4

Fuente: Esta investigación.

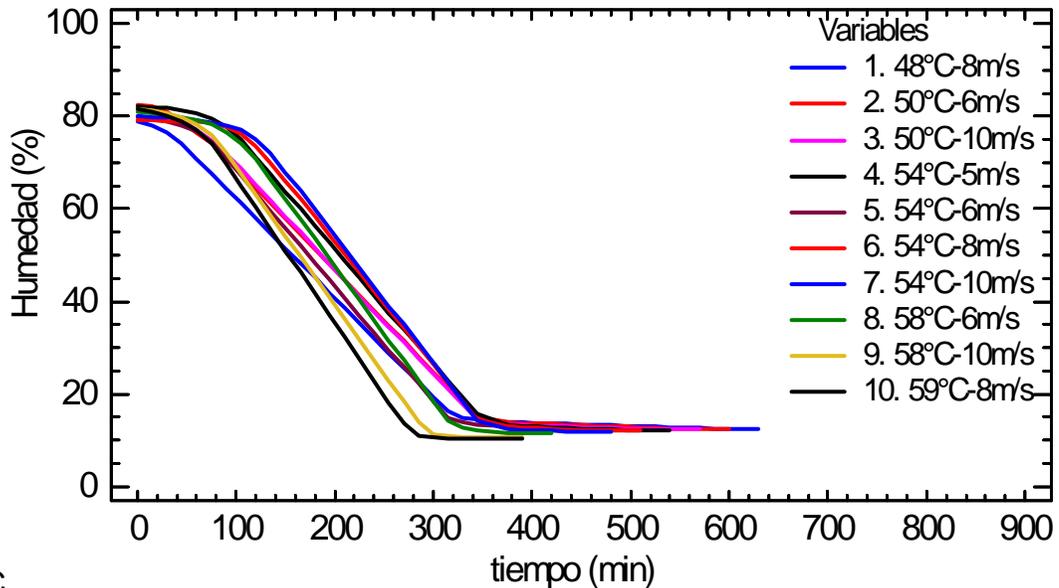
**Cuadro 20. Humedades promedios de secado (%), en la optimización. Ensayos 1 al 10.**

tiempo (min)	Humedad (%) Ensayo 1	Humedad (%) Ensayo 2	Humedad (%) Ensayo 3	Humedad (%) Ensayo 4	Humedad (%) Ensayo 5	Humedad (%) Ensayo 6	Humedad (%) Ensayo 7	Humedad (%) Ensayo 8	Humedad (%) Ensayo 9	Humedad (%) Ensayo 10
0	78,781	82,551	81,902	82,063	79,717	79,126	79,961	80,943	81,509	81,645
15	78,133	82,062	81,315	81,943	79,454	79,086	79,878	80,754	81,295	81,022
30	76,437	80,845	80,466	81,761	78,889	79,012	79,726	80,347	80,728	80,137
45	74,051	78,963	79,140	81,400	77,946	78,932	79,531	79,840	79,846	78,902
60	70,819	76,645	77,160	80,738	76,704	78,786	79,237	79,210	78,261	77,132
75	67,617	73,995	74,696	79,588	74,381	78,465	78,756	78,209	75,779	74,044
90	64,451	71,049	71,797	77,703	70,910	77,665	78,074	76,554	71,913	69,593
105	61,280	67,790	68,644	74,990	67,152	76,243	76,987	74,173	67,442	64,982
120	58,092	64,535	65,285	71,248	63,373	73,655	75,137	70,833	62,985	60,346
135	54,862	61,260	61,834	67,541	59,599	69,937	72,122	66,535	58,580	55,726
150	51,607	57,927	58,387	63,776	55,865	66,079	68,021	62,173	54,215	50,995
165	48,355	54,605	54,958	60,080	52,121	62,156	63,926	57,826	49,801	46,284
180	45,089	51,294	51,504	56,380	48,336	58,207	59,733	53,461	45,313	41,615
195	41,798	47,946	48,026	52,626	44,568	54,199	55,583	49,062	40,845	36,967
210	38,551	44,603	44,588	48,899	40,779	50,227	51,475	44,707	36,364	32,281
225	35,320	41,304	41,203	45,097	37,025	46,299	47,384	40,334	31,892	27,560
240	32,107	38,024	37,861	41,381	33,303	42,311	43,216	36,004	27,419	22,854
255	28,902	34,700	34,518	37,608	29,584	38,332	39,108	31,621	22,983	18,204
270	25,680	31,381	31,163	33,927	25,871	34,330	34,951	27,224	18,499	13,636
285	22,479	28,042	27,772	30,236	22,153	30,344	30,784	22,841	14,052	10,977
300	19,344	24,727	24,385	26,610	18,490	26,341	26,721	18,487	11,142	10,738
315	16,232	21,392	21,053	22,954	14,857	22,402	22,567	14,159	10,891	10,498
330	14,879	18,182	17,730	19,317	13,873	18,452	18,377	12,613	10,765	10,377
345	14,484	15,280	14,570	15,649	13,473	14,650	14,218	12,047	10,638	10,256

tiempo (min)	Humedad (%) Ensayo 1	Humedad (%) Ensayo 2	Humedad (%) Ensayo 3	Humedad (%) Ensayo 4	Humedad (%) Ensayo 5	Humedad (%) Ensayo 6	Humedad (%) Ensayo 7	Humedad (%) Ensayo 8	Humedad (%) Ensayo 9	Humedad (%) Ensayo 10
360	14,186	14,345	13,655	13,974	13,170	13,596	12,771	11,704	10,638	10,256
375	13,986	13,989	13,423	13,284	12,967	13,107	12,455	11,589	10,638	10,256
390	13,886	13,750	13,306	13,052	12,865	12,812	12,242	11,589	10,638	10,256
405	13,785	13,630	13,190	12,936	12,763	12,614	12,136	11,589		
420	13,684	13,510	13,073	12,819	12,559	12,415	12,029	11,589		
435	13,583	13,389	12,955	12,702	12,353	12,215	11,922			
450	13,482	13,268	12,838	12,584	12,250	12,114	11,922			
465	13,380	13,147	12,720	12,466	12,188	12,014	11,922			
480	13,278	13,025	12,602	12,348	12,188	12,014	11,922			
495	13,176	12,903	12,483	12,230	12,188	12,014				
510	13,074	12,781	12,412	12,230	12,188	12,014				
525	12,972	12,658	12,364	12,230						
540	12,869	12,535	12,364	12,230						
555	12,766	12,412	12,364							
570	12,663	12,412	12,364							
585	12,559	12,412								
600	12,559	12,412								
615	12,559									
630	12,559									

Fuente: esta investigación.

**Grafico 4. Curvas de secado de optimización. Humedad en función del tiempo.**



C

Fuente: esta investigación.

#### **6.4.1 Análisis curvas de humedad en función del tiempo, durante la optimización de secado, segundo objetivo:**

- ✓ La gráfica indica la pérdida de humedad en las láminas de papa al pasar el tiempo de secado, Estas curvas son más semejantes entre sí, ya que se utilizaron temperaturas y velocidades de aire no muy lejanas entre cada ensayo, a diferencia con las curvas de secado en el objetivo No.1, las cuales eran muy dispersas entre ellas debido a las condiciones de secado.
- ✓ En estos ensayos se utilizó espesor de la lámina a 0,2 cm por ello se evidencia que los tiempos de secado fueron cortos, Inicialmente tienen una humedad aproximada del 80%, llegando a una humedad final promedio de 11,817%, gastando un tiempo promedio de 459 minutos, datos similares reporta (BAEZ, *et al* 1997)<sup>83</sup>

<sup>83</sup> BAEZ, J.; GABRIEL, A.; RIVERA, R. Obtención de harina de papa. Universidad autónoma metropolitana unidad iztalapa. División de ciencias básicas e ingeniería.1997.

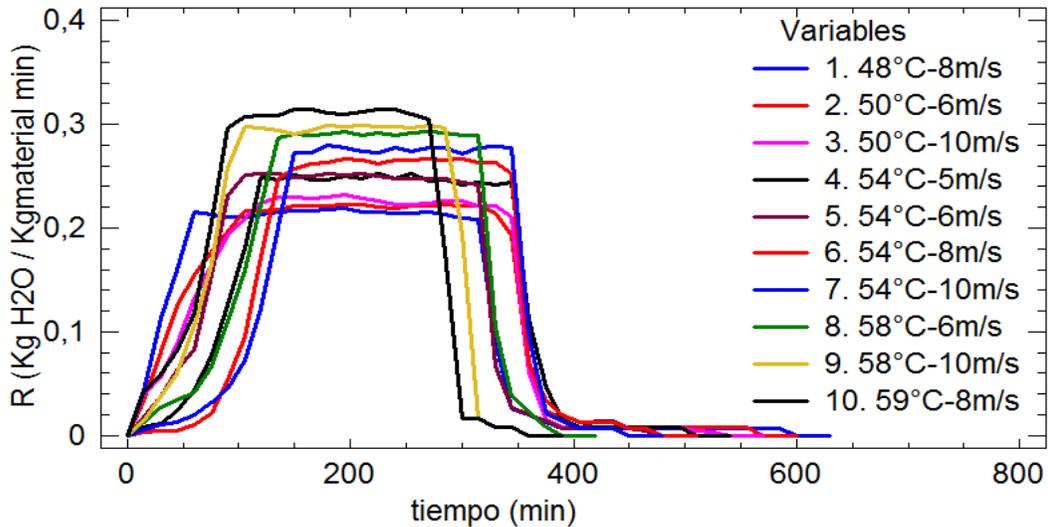
**Cuadro 21. Velocidades de secado promedios en optimización (Kg  $H_2O$  /Kg material min). Ensayos 1 al 10.**

tiempo (min)	R Ensayo 1	R Ensayo 2	R Ensayo 3	R Ensayo 4	R Ensayo 5	R Ensayo 6	R Ensayo 7	R Ensayo 8	R Ensayo 9	R Ensayo 10
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15	0,043	0,033	0,039	0,008	0,018	0,003	0,006	0,013	0,014	0,042
30	0,113	0,081	0,057	0,012	0,038	0,005	0,010	0,027	0,038	0,059
45	0,159	0,125	0,088	0,024	0,063	0,005	0,013	0,034	0,059	0,082
60	0,215	0,155	0,132	0,044	0,083	0,010	0,020	0,042	0,106	0,118
75	0,213	0,177	0,164	0,077	0,155	0,021	0,032	0,067	0,165	0,206
90	0,211	0,196	0,193	0,126	0,231	0,053	0,045	0,110	0,258	0,297
105	0,211	0,217	0,210	0,181	0,251	0,095	0,072	0,159	0,298	0,307
120	0,213	0,217	0,224	0,249	0,252	0,173	0,123	0,223	0,297	0,309
135	0,215	0,218	0,230	0,247	0,252	0,248	0,201	0,287	0,294	0,308
150	0,217	0,222	0,230	0,251	0,249	0,257	0,273	0,291	0,291	0,315
165	0,217	0,221	0,229	0,246	0,250	0,262	0,273	0,290	0,294	0,314
180	0,218	0,221	0,230	0,247	0,252	0,263	0,280	0,291	0,299	0,311
195	0,219	0,223	0,232	0,250	0,251	0,267	0,277	0,293	0,298	0,310
210	0,216	0,223	0,229	0,248	0,253	0,265	0,274	0,290	0,299	0,312
225	0,215	0,220	0,226	0,253	0,250	0,262	0,273	0,292	0,298	0,315
240	0,214	0,219	0,223	0,248	0,248	0,266	0,278	0,289	0,298	0,314
255	0,214	0,222	0,223	0,252	0,248	0,265	0,274	0,292	0,296	0,310
270	0,215	0,221	0,224	0,245	0,248	0,267	0,277	0,293	0,299	0,305
285	0,213	0,223	0,226	0,246	0,248	0,266	0,278	0,292	0,297	0,177
300	0,209	0,221	0,226	0,242	0,244	0,267	0,271	0,290	0,194	0,016
315	0,208	0,222	0,222	0,244	0,242	0,263	0,277	0,289	0,017	0,016
330	0,090	0,214	0,222	0,242	0,066	0,263	0,279	0,103	0,008	0,008
345	0,026	0,193	0,211	0,244	0,027	0,253	0,277	0,038	0,008	0,008
360	0,020	0,062	0,061	0,112	0,020	0,070	0,096	0,023	0,000	0,000

tiempo (min)	R Ensayo 1	R Ensayo 2	R Ensayo 3	R Ensayo 4	R Ensayo 5	R Ensayo 6	R Ensayo 7	R Ensayo 8	R Ensayo 9	R Ensayo 10
375	0,013	0,024	0,015	0,046	0,014	0,033	0,021	0,008	0,000	0,000
390	0,007	0,016	0,008	0,015	0,007	0,020	0,014	0,000	0,000	0,000
405	0,007	0,008	0,008	0,008	0,007	0,013	0,007	0,000		
420	0,007	0,008	0,008	0,008	0,014	0,013	0,007	0,000		
435	0,007	0,008	0,008	0,008	0,014	0,013	0,007			
450	0,007	0,008	0,008	0,008	0,007	0,007	0,000			
465	0,007	0,008	0,008	0,008	0,004	0,007	0,000			
480	0,007	0,008	0,008	0,008	0,000	0,000	0,000			
495	0,007	0,008	0,008	0,008	0,000	0,000				
510	0,007	0,008	0,005	0,000	0,000	0,000				
525	0,007	0,008	0,003	0,000						
540	0,007	0,008	0,000	0,000						
555	0,007	0,008	0,000							
570	0,007	0,000	0,000							
585	0,007	0,000								
600	0,000	0,000								
615	0,000									
630	0,000									

**Fuente:** esta investigación

**Grafico 5. Curvas de Velocidad de secado. Velocidad de secado en función del tiempo. Ensayos 1 al 10.**



Fuente: Esta investigación.

**6.4.2 Análisis gráficas de velocidad de secado en función del tiempo durante la optimización de secado, segundo objetivo.** En esta gráfica se observa que están presentes los tres periodos de la velocidad de secado, el primero un periodo creciente este en la mayoría de los ensayos son cortos, es donde la temperatura del material se ajusta a las condiciones de secado, enseguida esta el periodo de velocidad constante donde se remueve la humedad superficial, la lámina de papa se calienta y comienza a perder humedad a una velocidad constante en este período se remueve la parte del agua libre que se encuentra dentro, hasta alcanzar un contenido de humedad crítico y en el periodo de velocidad decreciente se remueve la humedad interna de las partículas.

En las curvas de velocidad de secado se observa que están muy cercanas entre sí, la pérdida de humedad más acelerada la presentó el secado realizado a 59°C con una velocidad de aire a 8 m/s, y la velocidad de secado más lenta la tuvo una temperatura de 48°C y velocidad de aire de 8 m/s, datos que se indican en la Cuadro 20, en el resumen de los ensayos de optimización.

**6.4.3 Análisis molienda y tamizado.** Para determinar un tamaño de partícula adecuada y similar a la harina de trigo se opto por seguir la NTC 267 la cual exige que debe pasar como mínimo el 98% de harina por un tamiz de 212  $\mu\text{m}$ -ISO (No. 70 U.S.A Standard, según la AOAC) No 70U.S.A, las láminas de papa se pasaron por un molino de martillos.

Una vez realizada la molienda, se procedió a tamizar las harinas obtenidas en la tamizadora modelo (PS-35 serie 1182), el cual consta de un juego de tamices

marca Tyler. Se utilizó el tamiz No. 70 (212  $\mu\text{m}$ ) y el fondo, se tamizó por un espacio de 5 minutos, al final de la cual se pesó cada tamiz determinado la cantidad de material retenido en cada uno (Cuadro 22).

Las harinas obtenidas y tamizadas presentó la siguiente granulometría:

En las harinas del primer objetivo un promedio de 96,876%, pasaron por el tamiz No. 70, valor que, aunque difiere en un 3,124% del parámetro exigido por la norma, aún es aceptable para una harina de tipo. En las harinas del segundo objetivo se obtuvo un promedio de 96,008%, este valor también es muy cercano al exigido por la norma, por lo tanto las harinas poseen una aceptable granulometría.

**Cuadro 22. Granulometría de las harinas de papa.**

<b>Primer objetivo (8 ensayos)</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Peso total muestra (g)</b>	<b>Pasante sobre la malla (g)</b>	<b>Pasante sobre la malla (%)</b>
1. 40 °C - 10 m/s - 0,4 cm	204,632	196,423	95,988
2. 40 °C - 10 m/s - 0,2 cm	195,7	189,928	97,051
3. 40 °C - 5 m/s - 0,4 cm	163,934	160,688	98,02
4. 40 °C - 5 m/s - 0,2 cm	205,36	201,663	98,2
5. 60 °C - 10 m/s - 0,4 cm	178,347	174,066	97,6
6. 60°C - 10 m/s - 0,2 cm	210,536	198,798	94,425
7. 60°C - 5 m/s - 0,4 cm	153,24	147,037	95,952
8. 60°C - 5 m/s - 0,2 cm	151,763	148,38	97,771
<b>Promedio</b>	<b>182,939</b>	<b>177,123</b>	<b>96,876</b>
<b>Segundo Objetivo (10 ensayos)</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Peso total muestra (g)</b>	<b>Retenido sobre malla (g)</b>	<b>Retenido sobre malla (%)</b>
1. 48 °C - 8 m/s	204,736	197,362	96,398
2. 50 °C - 6 m/s	184,374	183,372	99,457
3. 50 °C - 10 m/s	163,945	162,162	98,912
4. 54 °C - 5 m/s	198,48	189,261	95,355
5. 54 °C - 6 m/s	210,673	197,167	93,589
6. 54 °C - 8 m/s	205,325	199,216	97,025
7. 54 °C - 10 m/s	198,745	187,173	94,177
8. 58 °C - 6 m/s	195,273	188,537	96,55
9. 58°C - 10 m/s	211,628	203,183	96,01
10. 59°C - 8 m/s	177,393	164,27	92,602
<b>Promedio</b>	<b>195,057</b>	<b>187,17</b>	<b>96,008</b>

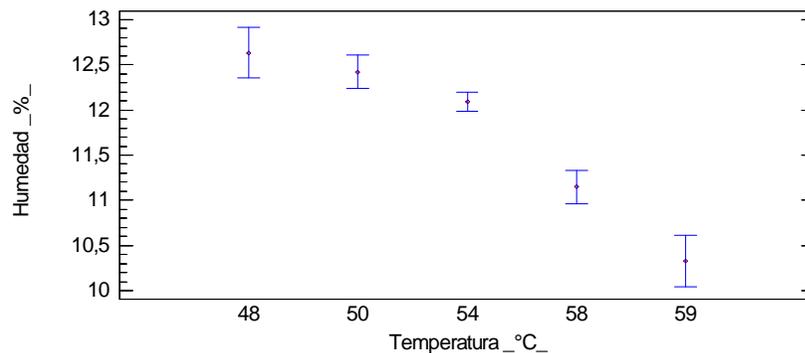
Fuente: Esta investigación.

#### 6.4.4 Análisis de varianza mediante la LSD para las condiciones de secado en la optimización:

- Efecto de la temperatura sobre la variable de respuesta humedad.

Según el gráfico 6, el factor temperatura presenta efecto estadísticamente significativo sobre la variable de respuesta porcentaje de humedad ( $P$ -valor = 0,000), asimismo en el gráfico se observa que a medida que la temperatura aumenta se alcanza contenidos de humedad más bajos.

**Gráfico 6. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable humedad en función de la temperatura.**



Fuente: Esta investigación.

La Cuadro 23., aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de  $X$ . El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0, por ende no se encontró diferencia significativa entre las temperaturas de 48 °C y 50 °C, con respecto a la humedad alcanzada.

**Cuadro 23. Pruebas de Múltiple Rangos para la Humedad en función de la Temperatura.**

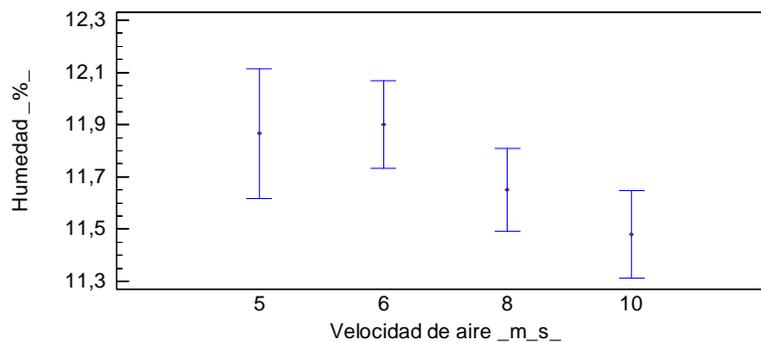
<i>Temperatura _°C_</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
59	3	10,3299	0,191642	X
58	6	11,1473	0,125459	X
54	12	12,0886	0,072434	X
50	6	12,4216	0,125459	X
48	3	12,6329	0,191642	X

**Fuente:** Esta investigación.

- **Efecto de la velocidad del aire sobre la variable de respuesta humedad.**

En el grafico 7. el factor velocidad del aire presenta efecto estadísticamente significativo sobre la variable de respuesta porcentaje de humedad (P-valor = 0,011), en el grafico se observa que a velocidades de aire mayores se alcanza contenidos de humedad más bajos.

**Grafico 7. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable para la variable humedad en función de la velocidad del aire.**



**Fuente:** Esta investigación.

Según la Cuadro 24, solo existe diferencia significativa entre las medias de las velocidades de aire de 6 m/s y 10 m/s con respecto a la humedad alcanzada.

**Cuadro 24. Pruebas de Múltiple Rangos para la Humedad en función de la velocidad del aire.**

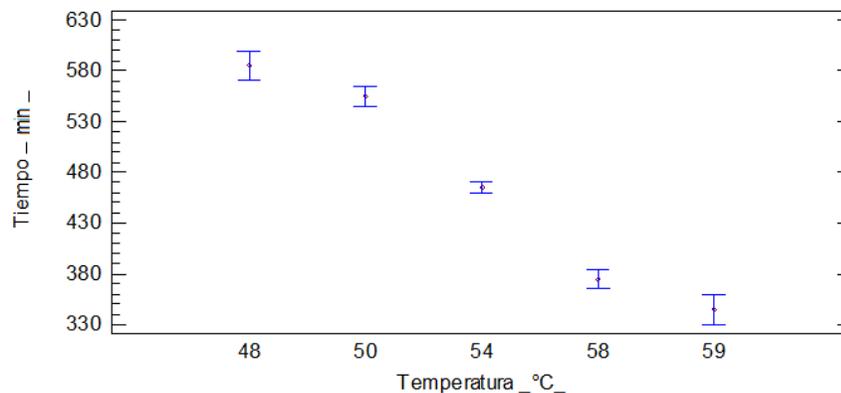
<i>Velocidad de aire _m_s_</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
10	9	11,4796	0,114681	X
8	9	11,6498	0,108409	XX
5	3	11,8658	0,168944	XX
6	9	11,901	0,114681	X

Fuente: Esta investigación.

- **Efecto de la temperatura sobre la variable de respuesta tiempo.**

En el grafico 8, el factor temperatura presenta efecto estadísticamente significativo sobre la variable de respuesta tiempo (minutos) (P-valor = 0,000), asimismo en el grafico se observa que a medida que la temperatura aumenta se alcanza tiempos menores.

**Grafico 8. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable tiempo en función de la temperatura.**



Fuente: Esta investigación.

La Cuadro 25., indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Cuadro 25. Pruebas de Múltiple Rangos para el tiempo en función de la Temperatura.**

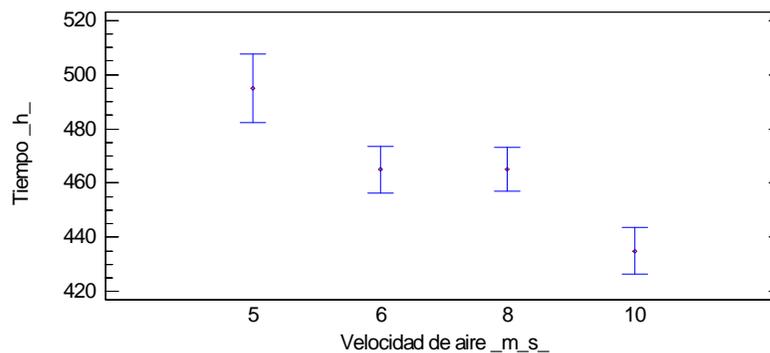
<i>Temperatura _°C_</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
59	3	345,0	9,77008	X
58	6	375,0	6,39602	X
54	12	465,0	3,69274	X
50	6	555,0	6,39602	X
48	3	585,0	9,77008	X

Fuente: Esta investigación.

- **Efecto de la velocidad del aire sobre la variable de respuesta tiempo.**

El grafico 9., presenta los P-valores y prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 P-valores son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Tiempo con un 95,0% de nivel de confianza.

**Grafico 9. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable tiempo en función de la velocidad del aire.**



Fuente: Esta investigación.

En la Cuadro 26., se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre 8 y 6 m/s, y entre 10 y 5 m/s hay diferencia estadísticamente significativa. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

## Cuadro 26. Pruebas de Múltiple Rangos para el tiempo en función de la Temperatura.

<i>Velocidad de aire _m_s_</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
10	9	435,0	5,84652	X
8	9	465,0	5,52679	X
6	9	465,0	5,84652	X
5	3	495,0	8,61289	X

Fuente: Esta investigación

**6.4.5 Evaluación sensorial.** Para determinar la harina de papa óptima en cuanto a color y textura se realizó un análisis sensorial de preferencia con 10 panelistas conocedoras del tema (panaderos), en la cual se compararon las diez muestras de harina de papa y una muestra de harina de trigo.

En la prueba se evaluó mediante el método de escala hedónica como lo explica Anzaldúa<sup>84</sup>, donde se calificaron las siguientes características; color, textura y aceptabilidad en la cual cada persona eligió entre las siguientes opciones y puntajes: me gusta mucho (5), me gusta (4), me es indiferente (3), me disgusta (2) y me disgusta mucho (1). Ver (Anexo A).

### Imagen 18. Panel de aceptación de harina de papa.



Fuente. Esta investigación.

El diseño experimental y el análisis de resultados fue realizado con ayuda del programa statgraphics<sup>®</sup> centurión XV<sup>85</sup> mediante el cual se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación mediante la LSD de Fisher a un 5% de nivel de significancia

<sup>84</sup>ANZALDÚA M. A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica: en lengua española. Zaragoza (España): Acribia, S. A., p.123-157. 1994

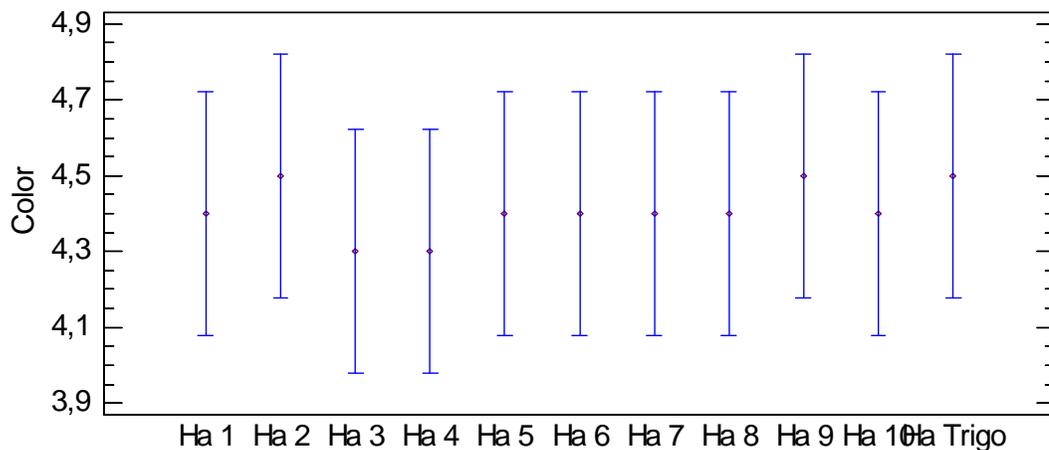
<sup>85</sup>Statgraphics centurion (CD-ROM). Copyright by statistical graphics corporation. Estados Unidos.

**Color:** los ensayos No.2 (50°C, 6m/s), No. 9 (58°C, 10 m/s) y la harina de trigo, obtuvieron el mayor puntaje, sin embargo no hay diferencia estadísticamente significativa entre los diez ensayos y la harina de trigo, tal como se indica en el gráfico de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% (grafico10).

**Textura:** En cuanto a la variable de respuesta textura, la harina de papa No. 8 (58°C y 6 m/s) y la harina de trigo, obtuvieron el mayor puntaje en la prueba hedónica, sin embargo estadísticamente no se presentaron diferencias significativas entre las harinas (grafico 11).

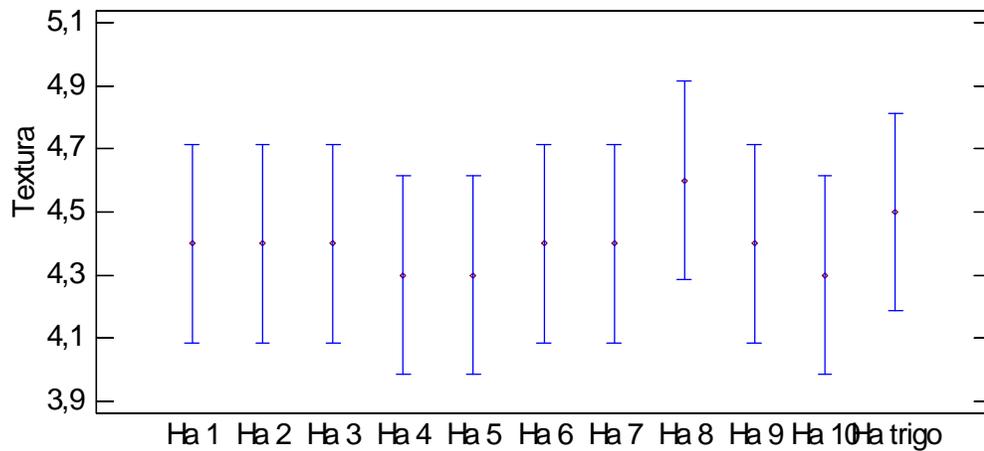
**Aceptación:** La harina de papa No. 9 (58°C y 8 m/s) y harina de trigo, obtuvieron el mayor puntaje en la prueba, al observar el gráfico de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% (grafico 12) no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre las harinas.

**Grafico 10. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable color.**



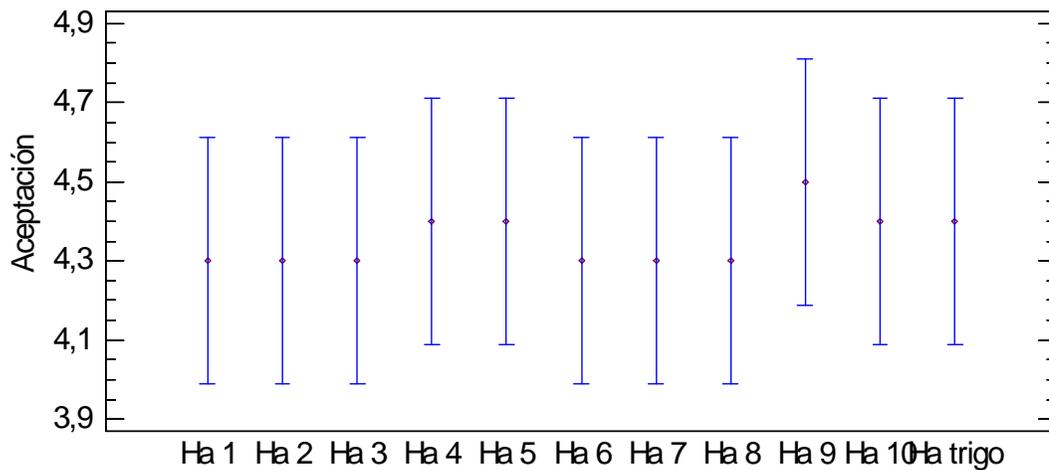
Fuente. Esta investigación.

**Grafico 11. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable textura.**



Fuente. Esta investigación.

**Grafico 12. Diagrama de medias e intervalos para la diferencia menos significativa de Fisher al 95% para la variable aceptación.**



Fuente. Esta investigación.

**Cuadro 27. Cuadro resumen de la optimización de secado de papa parda pastusa (*Solanum tuberosum*).**

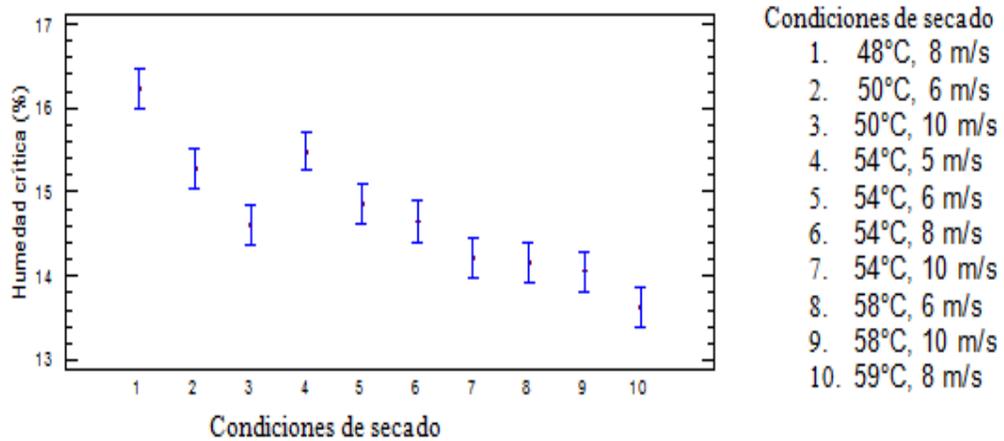
Ensayo No. *	Condiciones de secado (temperatura °C-Velocidad de aire m/s)*	tiempo (min)	Humedad (%)*	R (kg $H_2O$ / kg material. Min)*	Color	Textura	Humedad Crítica Hc (%)*
1	48 - 8	585	12,559	0,214	4,4	4,4	16,232
2	50 - 6	555	12,412	0,219	4,4	5 4,4	15,280
3	50 - 0	525	12,364	0,225	4,4	3 4,4	14,570
4	54 - 5	495	12,230	0,247	4,4	3 4,3	15,649
5	54 - 6	465	12,188	0,249	4,4	4 4,3	14,857
6	54 - 8	465	12,014	0,263	4,4	4 4,4	14,650
7	54 - 10	435	11,922	0,276	4,4	4 4,4	14,218
8	58 - 6	375	11,589	0,291	4,4	4 4,5	14,159
9	58 - 10	345	10,638	0,297	4,4	5 4,4	14,052
10	59 - 8	345	10,256	0,310	4,4	4 4,3	13,636

\* Valores promedios (n = 3)

Fuente: Esta investigación.

Se determinó que existe diferencia estadísticamente significativa (Pvalor=0,000) entre los tratamientos propuestos para la optimización con respecto a la humedad crítica (figura 8), sin embargo según la Cuadro 21 existen algunos grupos homogéneos afirmando que entre algunos de ellos no hay diferencia significativa.

**Grafico 13. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable % de humedad crítica.**



Fuente: Esta investigación.

En la figura 8 se evidencia una correlación lo cual permite afirmar que conforme aumentan las temperaturas y las velocidades de aire se alcanza un porcentaje menor de humedad crítica, según Mc Cabe *et al.* (1991)<sup>86</sup> El contenido de humedad crítica varía con el espesor del material y con la velocidad de secado, en este caso el primer aspecto no es relevante ya que se mantuvo constante, mientras que el segundo depende de las condiciones de secado es decir de la temperatura y de la velocidad del aire, en este caso se determinó la ecuación que describe la humedad crítica en función de estos factores.

**Ecuación 7.** Ecuación Humedad crítica determinada.

**Humedad crítica** = 24,1887 - 0,150154\*temperatura °C - 0,170719\*Velocidad de aire

Puesto que el P-Valor es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%, La anterior ecuación se obtuvo con un R-Cuadrado del 84,154% que indica que el modelo explica 84,154% de la variabilidad en Humedad crítica.

<sup>86</sup>MC CABE, W.; SMITH, J.; HARRIOTT, P. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química.4 ed. p 832. 1991.

**Cuadro 28. Prueba Múltiple de Rangos (método LSD 95,0%)**

	Casos	Media	Grupos Homogéneos	Condiciones de secado
10	3	13,636	X	1. 48°C, 8 m/s
9	3	14,052	XX	2. 50°C, 6 m/s
8	3	14,159	XX	3. 50°C, 10 m/s
7	3	14,218	XXX	4. 54°C, 5 m/s
3	3	14,570	XXX	5. 54°C, 6 m/s
6	3	14,650	XX	6. 54°C, 8 m/s
5	3	14,857	XX	7. 54°C, 10 m/s
2	3	15,280	XX	8. 58°C, 6 m/s
4	3	15,649	X	9. 58°C, 10 m/s
1	3	16,232	X	10. 59°C, 8 m/s

Fuente: Esta investigación.

#### 6.4.6 Análisis de Vitamina C:

**Cuadro 29. Análisis de vitamina C, Harinas de papa variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*) en el ensayo de optimización. (mg / 100g).**

Ensayo	Condiciones de secado	Vitamina C (mg/100g)
1	48°C, 8 m/s	12,9
2	50°C, 6 m/s	12,61
3	50°C, 10 m/s	12,47
4	54°C, 5 m/s	11,88
5	54°C, 6 m/s	11,75
6	54°C, 8 m/s	11,6
7	54°C, 10 m/s	11,45
8	58°C, 6 m/s	10,86
9	58°C, 10 m/s	10,29
10	59°C, 8 m/s	10,0

Fuente: Esta investigación.

Como se puede observar en la Cuadro 21, el contenido de vitamina C se ve afectado por las condiciones de secado estudiadas, de igual manera lo reporta (García. 2010)<sup>87</sup>, a medida que aumenta la temperatura disminuye el contenido de vitamina C en la papa parda pastusa (*Solanum tuberosum*). BAEZ, et al (1997)<sup>88</sup>.

<sup>87</sup> GARCIA MARIBEL, CORTES MISAEL, RODRIGUEZ EDUARDO. Evaluación del secado de perejil aplicando técnicas de deshidratación osmótica como pretratamiento. Rev.Fac.Nal.Agr. Medellín 63(2):5693-5705. 2010.

<sup>88</sup> BÁEZ, JUAN G., PÉREZ, ALONSO C., RIVERA, H. RENÉ. Obtención de harina de papa. Universidad autónoma metropolitana Unidad etapalapa. División de ciencias básicas e ingeniería.1997.

Reporta el contenido de vitamina C en papa fresca es de 24,1mg/100g, lo que indica que el contenido de vitamina C si se ve afectada durante el secado.

De acuerdo a los parámetros de estudio en los ensayos de optimización la temperatura a 58°C y velocidad de aire de 6m/s, fue el ensayo óptimo, ya que a esta temperatura tiene una humedad promedio de 11,589% que se encuentra entre el rango de 10 a 12 % que es una humedad estable según (García. 2004)<sup>89</sup>, este ensayo gasta un tiempo de secado de 375 minutos para llegar a esta humedad, además el contenido de vitamina C es de 10,86mg/100g, que comparado con el ensayo número nueve el cual cambia la velocidad de aire y gasta un tiempo de 345 minutos y contiene una humedad de 10,638% la diferencia entre estos ensayos es el contenido de vitamina C, en el ensayo nueve es más bajo, por lo tanto se determina que el ensayo optimo para secar papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*) es el ensayo a condiciones de 58°C y 6 m/s. En la Cuadro 22 se indica el análisis bromatológico de la harina de papa óptima.

❖ **Harina de papa óptima según condiciones de secado estudiadas.**

- ✓ **Humedad:** 11,589%
- ✓ **Tiempo:** 375 minutos
- ✓ **Color:** 4,4
- ✓ **Textura:** 4,5
- ✓ **Vitamina C:** 10,86 mg/100g

**6.4.7 Análisis bromatológico de la harina de papa óptima:**

**Cuadro 30. Análisis bromatológico Harina de papa óptima de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*). (g /100g).**

Componente	Papa parda pastusa*			Cv%
% Humedad	11,589	±	0,399	0,034
% Proteína cruda	7,56	±	0,231	0,031
% Grasa	0,472	±	0,063	0,134
% Ceniza	3,38	±	0,091	0,240
%Materia Seca	88,411	±	0,399	0,005

\* Valores promedios (n = 3) ± desviación estándar  
Fuente: Esta investigación.

<sup>89</sup> GARCIA MENDEZ SUSANA. Estudio Nacional comparativo y evaluación biológica de tortillas de maíz elaboradas por diferentes métodos de procesamiento. Tesis de grado maestría en ciencia en tecnología avanzada. Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada. Instituto politécnico nacional. 2004.

El análisis bromatológico de la papa fresca recalculada en base seca Cuadro 10., y la harina de papa óptima Cuadro 24., se puede observar que los contenidos de las propiedades son similares, por ejemplo en la proteína aumenta de 6,4 a 7,56 %, asimismo para el porcentaje de grasa y ceniza.

El contenido de humedad se pierde durante el secado llevando a que los nutrientes se concentren, por ejemplo las proteínas, grasas y carbohidratos están presentes en mayor cantidad en los alimentos secos que en los frescos lo reporta (Baez. *Et al.* 1997).<sup>90</sup> Al comparar los análisis bromatológicos de la papa en estado fresco y la papa en base seca se observa que la proteína, la grasa y la ceniza aumentan.

---

<sup>90</sup> BÁEZ, J., PÉREZ, A., RIVERA, R. Obtención de harina de papa. Universidad autónoma metropolitana Unidad etapalapa. División de ciencias básicas e ingeniería. 1997

## 7. CONCLUSIONES

Para secar las láminas de papa, las mejores condiciones fueron, temperatura de 58 °C, velocidad de aire de 6 m/s, y 0,2 cm de espesor de lámina de papa. Para ello se gastó un tiempo de 375 minutos y se obtuvo una humedad del 11,589%.

La cinética de secado fue influenciada por la temperatura, velocidad de aire y el espesor de la lámina de papa, ya que al utilizar temperaturas y velocidades de aire bajas conllevaron a tiempos largos de secado para obtener harina de papa con altos valores de humedad.

Espesores de láminas muy gruesos tienden a formar una costra en el centro de la lámina, por lo tanto no permite que la humedad se retire en su totalidad.

En las curvas de secado se pudo observar claramente como se presentó la pérdida de humedad en cada ensayo, así mismo el tiempo empleado para llegar hasta esta humedad.

El secado de papa parda pastusa (*Solanum tuberosum*), con aire caliente presentó buena aceptación tanto de color, textura y aceptabilidad del producto.

La temperatura fue el factor más influyente en el proceso de secado, ya que al aumentar la temperatura disminuye el tiempo de secado sin embargo este aumento trae consigo pérdidas de vitamina C con la consecuente disminución de su valor nutricional.

Con las curvas de cinética de secado se lograron determinar los tiempos de secado necesarios para alcanzar contenidos de humedad, los tiempos y las humedades variaron de acuerdo a los espesores de lámina de papa.

## **8. RECOMENDACIONES**

Realizar un estudio de secado iniciando con temperaturas bajas hasta determinado tiempo y luego aumentar la temperatura para evitar formación de costra en el producto.

Se recomienda hacer un estudio sobre secado de papa en otras variedades, para ver si tienen el mismo comportamiento.

Se recomienda a la facultad de Ingeniería Agroindustrial estudiar la posibilidad de incluir en el plan de estudios, una asignatura sobre análisis bromatológico de los alimentos.

Se recomienda evaluar la harina de papa obtenida en diferentes productos de panadería.

## BIBLIOGRAFIA

ALVAREZG. I.; MAHECHA G.; GUZMAN R. Determinación cuantitativa de vitamina C y pigmentos y procesamiento de la papa criolla, variedad yema de huevo (*Solanum phureja* Jut et Buck). Revista colombiana de química. Vol. 12, No. 2. P 29-45. 1983.

Análisis de Alimentos Fundamentos y Técnicas. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/53790476/96/Proteina-cruda-%E2%80%9CMetodo-de-Kjeldahl%E2%80%9DAOAC-Official-Method-2001-11#page=28>. Fecha de consulta: Noviembre 15 de 2011.

ANZALDÚA, M. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica: en lengua española. Zaragoza (España): Acribia, S. A., P.123-157. 1994

ANDRE, C.; GHISLAIN, M.; BERTIN, P.; OUFIR, M.; HERRERA, M.; HOFFMANN, L.; HAUSMAN, J.; LARONDELLE, Y. Y EVERS, D. Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) as a source of antioxidant and mineral micronutrients. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55 (2). p. 366- 378. 2007.

AYHAN, Z., YEOM, H. W., ZHANG, Q. H., & MIN, D. B. Flavor, color and vitamin C retention of pulsed electric field processed orange juice in different packaging materials. Journal of Agricultural and Food Chemistry, p.49. 2001.

BÁEZ, JUAN G., PÉREZ, ALONSO C., RIVERA, H. RENÉ. Obtención de harina de papa. Universidad autónoma metropolitana Unidad etapalapa. División de ciencias básicas e ingeniería. 1997.

BERESTAIN, C. VELÁZQUEZ, A. y CORTES, R. Aprovechamiento de la papa de desecho en la obtención de harina integral para la elaboración de alimentos de consumo popular. En: archivos latinoamericanos de nutrición. Vol. 40. p.77. 1990.

CAJAMARCA, E. Evaluación Nutricional de la oca (*Oxalis tuberosa sara-oca*), Fresca, endulzada y deshidratada en secador de bandejas. Tesis de grado. Ecuador. 2010.

CALAVERAS, J. Nuevo tratado de panificación y bollería. 2ª ed. p 625. 2004.

CAMPOS, R.; HERNÁNDEZ, H.; ALAMILLA, L.; CHANONA, J.; GUTIÉRREZ, G. F. ENCB-IPN, Carpio Y PLAN DE AYALA S/N, C.P. Estudio de la rugosidad de un alimento durante el secado convectivo usando análisis fractal. XI congreso nacional de biotecnología y bioingeniería. 2005.

CARRANZA, J Y SÁNCHEZ, M. Cinética de secado de musa paradisiaca I. "plátano" y manihote sculentagrantz "yuca. Revista amazónica de investigación alimentaria, v.2, nº 1, p. 15 – 25. 2002.

CERÓN, A., HURTADO, A., OSORIO, O., BUCHELY, M. Estudio de la Formulación de la Harina de Papa de la Variedad Parda Pastusa (*solanum tuberosum*) Como Sustituto Parcial de la Harina de Trigo en Panadería. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. vol 9 no. 1 (115 - 121) enero - junio 2011.

CERON, A. y SOLARTE, D., Plan de negocios para la creación de una empresa agroindustrial, productora de pan y galletas a partir de harina de papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*) como sustituto parcial de la harina de trigo, en el municipio de Pasto departamento de Nariño. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Agroindustrial., Universidad de Nariño. Pasto, 2011.

CHAVARRÍA, A., Evaluación tecnológica de algunas posibilidades de industrialización de la papa. 1985.

ERENTURK, S; GULABOGLU, M.S; GULTEKIN, S. The effects of cutting and drying medium on the vitamina C content of rosehip during drying. *Journal of Food Engineerin.*, P. 68, 513-518. 2005.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Año internacional de la papa. El tubérculo. 2008

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (Año Internacional de la Papa 2008. Nueva luz sobre un tesoro enterrado. Roma. p. 24. 2008.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Año internacional de la papa. Usos de la papa. 2008

FEDEPAPA. Variedades de papa en Colombia. En: revista papa número 19. P. 35. abril de 1999.

GARCIA, M.; CORTES, M.; RODRIGUEZ, E. Evaluación del secado de perejil aplicando técnicas de deshidratación osmótica como pretratamiento. Rev.Fac.Nal.Agr. Medellín 63(2):5693-5705. 2010.

GARCIA, S. Estudio Nacional comparativo y evaluación biológica de tortillas de maíz elaboradas por diferentes métodos de procesamiento. Tesis de grado maestría en ciencia en tecnología avanzada. Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada. Instituto politécnico nacional. 2004

GARCÍA, S. V.1; SCHMALKO, M.E.2 ; TANZARIELLO, A. Isotermas de adsorción y cinética de Secado de ciertas hortalizas y Aromáticas cultivadas en misiones. INTA, Argentina.RIA, 36 (1): 115-129. Abril 2007.

GEANKOPLIS, C. J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 2ª Edición, Editora Continental, México D.F., México. 1995.

GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones Unitarias. 3ª ed Editora Continental, México D.F. p 1008. 1998

GIRALDO, A.; ARÉVALO, A.; SILVA, A.; SILVA, P.; VALDES, J.; PAVLAK, M. Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobromagrandiflorum*) en rodajas. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 30(1): 179-182, jan.-mar. 2010.

GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Documento sobre la Problemática Agraria del Departamento de Nariño: Plan de Contingencia, 2006.

\_\_\_\_\_ fomenta la industrialización de la papa. Pasto, 2007 En: [www.gobernar.gov.co](http://www.gobernar.gov.co) (Fecha de consulta: 21 de junio de 2011).

GÓMEZ, C; MARTÍNEZ, H; GONZÁLEZ, N; LÓPEZ, J; PADILLA, D; TOVAR, X; CASTRO, J; CARRASCO, R. Cinética de Secado del Bagazo de Naranja en Función de la Temperatura con Aire Forzado. VII congreso nacional de Ciencia de los Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato. Gto. México. 2005.

ICONTEC, Harina de trigo. (NTC 267). Bogotá 2007.

ICONTEC, Industria Alimentaria. Papa para Consumo. Clasificación:. (NTC 341). Bogotá 2003.

KODUVAYUR, H. S., SKALL, N. N., JACOBSEN, C. Antioxidant Activity of Potato Peel Extracts in a Fish-Rapeseed Oil Mixture and in Oil-in-Water Emulsions. Journal of the American Oil Chemists' Society, Vol. 87, No. 11. p. 1319-1332. 2010.

LEES, R., Análisis de los Alimentos. 2ª edición., Acribia Ed., Madrid. p. 288. 1982.

LÓPEZ A, VIRSEDA P, ABRIL J. Modelado de la Cinética de Secado de Patata Cortada en Láminas. 1993.

LUJAN, G. Desarrollo de marcadores SCAR y CAPS en un QTL con efecto importante sobre la resistencia al tizón tardío de la papa. 1991.

MC CABE, W.; SMITH, J.; C. HARRIOTT, P. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4 ed. p 832. 1991.

MARTÍNEZ, H, *Et al.*, “La papa en Colombia. Una mirada global a su estructura y dinámica 1991-2005”, Documento de Trabajo, N° 100, Observatorio Agro cadenas Colombia, Bogotá. p. 5. 2006.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Alianza para la comercialización de papa criolla con productores de Nariño. p 23. 2007.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Observatorio Agrocadenas Informe de coyuntura papa primer trimestre. Bogotá. P 6. 2006.

MONTES, E; TORRES R., ANDRADE R., PÉREZ O., MARIMON J., MEZA, I. Modelado de la cinética de secado de ñame (*dioscorea rotundata*) en capa delgada. Revista *Ingeniería e Investigación*, agosto, /vol. 28, número 002. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp. 45-52. 2008.

NIELSEN S. (ed); Food Analysis Laboratory Manual; Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York, 2003.

NOLLET, L. M. L (Ed).; Handbook of Food Analysis; M. Dekker, Nueva York 1996.

NULE, M. Estudio de factibilidad para el montaje de un proyecto agroindustrial de papa en el Departamento de Nariño. Santa fe de Bogotá, mayo de 1998.

PLANELLA, I. Agroindustria y desarrollo económico. 2ª ed. ICCA Colombia. 1986.

OCAMPO, A. Modelo cinético del secado de la pulpa de mango. Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia). p. 5. 119-128. Junio 2006.

ORDOÑEZ P.J. “Tecnología de Alimentos: Componentes de los Alimentos y Procesos” Editorial Literaria. 1998.

PEZZUTTI, A. CRAPISTE, GH. Sorptional equilibrium and drying characteristics of garlic. *Journal of Food Engineering*, 31(1), 113-123. 1997.

PERRY, R. Chemical engineers handbook. (Ed.). New York: Mc Graw- Hill. 1999.

PINEDA, B y VÁZQUEZ, L., Evaluación Fisicoquímica y Sensorial de Pan Suplementado Con Diferentes Concentraciones de Harina de Papa. En: XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, gto. (Jue 27- Vie 28 de mayo de 2010).

PIRONE. B.N.; OCHOA. M.R.; KESSELER. A. G y DE MICHELIS. A. Evolución de la concentración de Ácido ascórbico durante el proceso de deshidratación de frutos de la rosa mosqueta (*Rosa eglanteria l.*). Revista de Investigaciones Agropecuarias, *RIA*, 31 (1):85 a 98 ISSN 0325 – 8718INTA, Argentina.2002.

QUINTERO, I., MONTERO, F., ZAMBRANO, J., MEZA, N., MAFFEI, M., VALERA, A., Y ALVAREZ, R. Evaluación de once clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el estado Trujillo. I Crecimiento, desarrollo y rendimiento. Rev. Fac. Agron., vol.26, no.3, p.362-381. 2009.

RAMÍREZ, I., Análisis de Alimentos. 3ª edición., Guadalupe Ed., Santa Fe de Bogotá. p. 313. 1998.

RATTI, C. Hot air and freeze drying of high-value foods: a review. Journal of Food Engineering. p. 49: 311–319. 2001.

SANDOVAL, G. Elaboración de Harina precocida de papa *Solanum tuberosum*, en autoclave, con las variedades Superchola y Gabriela, para consumo humano. Investigación realizada en la Unidad de Investigación en Tecnología en Alimentos, Centro de Investigación –CENI- de la Universidad Técnica de Ambato. 2007.

SHARMA, S., MULVANEY, S., RIZVI, S. Ingeniería de alimentos. Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. p 348. 2003.

SHINING HWA ENTERPRISE CO.,LTD. Disponible en <http://www.shining-hwa.es/>. Harina de papa. fecha de consulta 23/06/11.

SIPSA, (Sistema de información de precios del sector agropecuario). Informe mensual de prensa precios mayoristas del sector agropecuario marzo 2010.p 3.

TREYBAL, R.E. Operaciones de transferencia de masa. 2ª. Edición. McGraw-Hill, México D.F., México. p 858. 1980.

VEGA, A.; FITO, P. Modelado de la Cinética de Secado del Pimiento Rojo (*Capsicum annuum* L. cv *Lamuyo*). Inf. tecnol., La Serena, v. 16, n. 6, 2005. Disponible en <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642005000600002&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000600002&lng=pt&nrm=iso)>. acceso en 25 jun. 2011.

VEGA, A.; y LEMUS, R. Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (*Vasconcellea pubescens*). Inf. Tecnol., La Serena, v.17, n.3, 2006. Disponible en [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642006000300005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000300005&lng=es&nrm=iso) .accedido en 30 jun. 2011.

WKREN, L.; Mc Cabe – SMITH, J.; HARRIOTT, P. Operaciones unitarias en Ingeniería Química. Sexta edición. P.1199. 2001.

WOOLFE, J. The patata in the human diet. Cambridge University Press. Cambridge, landan, p 231. 1987.

# **ANEXOS**

## Anexo A. Hoja de respuesta, prueba de aceptación por el método escala hedónica de 5 puntos

**Objetivo:** Conocer las respuestas de color, textura y aceptabilidad de la harina de papa.

NOMBRE: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

No. de experimento de secado de harina de papa: \_\_\_\_\_

**Producto:** Harina de papa y harina de trigo

### INSTRUCCIONES

A continuación se presentan diez muestras de harina de papa. Marque con una X que tanto le Gusta o le Disgusta el color, la textura y la aceptabilidad en cada una de las muestras.

MUESTRA NUMERO: \_\_\_\_\_

CARACTERISTICAS	COLOR	TEXTURA	ACEPTACION
ME GUSTA MUCHO			
ME GUSTA			
INDIFERENTE			
ME DISGUTA			
ME DISGUSTA MUCHO			

MUESTRA NUMERO: \_\_\_\_\_

CARACTERISTICAS	COLOR	TEXTURA	ACEPTACION
ME GUSTA MUCHO			
ME GUSTA			
INDIFERENTE			
ME DISGUTA			
ME DISGUSTA MUCHO			

MUESTRA NUMERO: \_\_\_\_\_

CARACTERISTICAS	COLOR	TEXTURA	ACEPTACION
ME GUSTA MUCHO			
ME GUSTA			
INDIFERENTE			
ME DISGUTA			
ME DISGUSTA MUCHO			

MUESTRA NUMERO: \_\_\_\_\_

CARACTERISTICAS	COLOR	TEXTURA	ACEPTACION
ME GUSTA MUCHO			
ME GUSTA			
INDIFERENTE			
ME DISGUTA			
ME DISGUSTA MUCHO			

**Anexo B. Análisis Bromatológico a la papa parda pastusa (*Solanum tuberosum*). Laboratorios Especializados.**

 Universidad de Nariño	<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>	Código: LUL-1105H16-7c
	REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO BROMATOLOGÍA	Página: 1 de 1
		Versión: 1
		Vigente a partir de: 20/04/2010

DATOS USUARIO		DATOS MUESTRA		Reporte No. LB-R117A-11	
Solicitante:	Lizeth Barrios	Muestra:	Papa parda pastusa	Código Lab	477
Dirección:	Carrera 44 No. 19 - 27 B/ Pandiaco, Pasto	Procedencia: Empresa Distribuidora, Pasto			
cc / nit:	1.089.480.067				
Teléfono:	3147615624	Fecha de Muestreo	DD 08 MM 11 AA 11		
e-mail:	lizethc31@hotmail.com	Fecha Recapcion Muestra	DD 08 MM 11 AA 11		
		Fecha Reporte	DD 08 MM 11 AA 11		
<b>ANÁLISIS SOLICITADO</b>		Grasa, Proteína, Ceniza.			
PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD DE MEDIDA	LÍMITE DE DETECCIÓN	HARINA DE PAPA
Grasa Proteína Ceniza	Extracción Soxhlet Kjeldhal (Nº6,25) Mufla	Gravimétrica Volumétrica Gravimétrica	g/100g g/100g g/100g	- - -	0,12 2,42 0,93
<b>OBSERVACIONES</b>	RESULTADOS VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA. Composición por cada 100 g de parte comestible				

*Original firmado*  
Gloria Sandra Espinosa Narváez  
Téc. Laboratorio Bromatología

Elaboró: GSE 08/11/2011  
Revisó: GSE 08/11/2011

## Anexo C. Análisis Bromatológico Harina de papa parda pastusa (*Solanum tuberosum*). Laboratorios Especializados.

 Universidad de Nariño	<b>SECCION DE LABORATORIOS</b>  REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO BROMATOLOGIA	Código: LUL-1135118-70 Página: 1 de 1 Versión: 1 Vigente a partir de: 2003/2010
---	--	---

DATOS USUARIO		DATOS MUESTRA		Reporte No. LB-R117A-11	
Solicitante:	Lizeth Barrios	Muestra:	Harina de papa parda pastusa	Código Lab	478
Dirección:	Carrera 44 No. 19 - 27 B/ Padiaco. Pasto	Procedencia: Planta Piloto, Universidad de Nariño			
Cc / nit:	1.089.480.067				
Teléfono:	3147615624	Fecha de Muestreo	DD 26 MM 11 AA 11		
e-mail:	lizebfc31@hotmail.com	Fecha Recpción Muestra	DD 06 MM 12 AA 11		
		Fecha Reporte	DD 06 MM 12 AA 11		
ANÁLISIS SOLICITADO		Grasa, Proteína, Ceniza			
PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD DE MEDIDA	LÍMITE DE DETECCIÓN	HARINA DE PAPA
Grasa	Extracción Soxhlet Kjeldhal (N°6,25) Muña	Gravimétrica	g/100g	-	0,472
Proteína		Volumétrica	g/100g	-	7,56
Ceniza		Gravimétrica	g/100g	-	3,38
OBSERVACIONES		RESULTADOS VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA Composición por cada 100 g de parte comestible			

*Original firmado*  
 Gloria Sandra Espinosa Narváez  
 Téc. Laboratorio Bromatología

Elaboró: GSE 08/11/2011  
 Revisó: GSE 08/11/2011

Ciudad Universitaria - Torobajo - Telf 7314477 - 7311449 ext 222, 256 - San Juan de Pasto - Colombia. email: labrom-abonos@udenar.edu.co

## Anexo D. Análisis de Vitamina C, Harina de papa parda pastusa (*Solanum tuberosum*). Laboratorios Especializados

 Universidad de Nariño	<b>REGION DE LABORATORIOS</b> REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO BROMATOLOGIA	Código: CSE PPS PR 121 Página: 1 de 1 Versión: 1 Vigencia a partir de: 2015/01/01			
<b>ANÁLISIS SOLICITADO</b>					
<b>DATOS USUARIO</b> Solicitante: <b>Lizeth Barrios</b> Dirección: <b>Carrera 44 No. 15-27</b> El Pandiaco, Pasto CC / NIT: <b>1.083.486.067</b> Teléfono: <b>3147615624</b> e-mail: <b>lizethc31@hotmail.com</b>	<b>DATOS MUESTRA</b> Muestra: <b>Harina de papa parda pastusa</b> Procedencia: <b>Planta Piloto, Ingeniería Agroindustrial</b> Fecha de Muestreo: <b>DD 20 MM 11 AA 11</b> Fecha Recepción Muestra: <b>DD 23 MM 01 AA 12</b> Fecha Reporte: <b>DD 08 MM 02 AA 12</b>	<b>Reporte No. LB-R-006-12</b> Código Lab: <b>021 - 030</b> <b>Vitamina C (2 nitroanilina)</b>			
<b>CÓDIGO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>VITAMINA C mg / 100g</b>			
021	Harina Papa parda pastusa 1	12,9			
022	Harina Papa parda pastusa 2	12,61			
023	Harina Papa parda pastusa 3	12,47			
024	Harina Papa parda pastusa 4	11,85			
025	Harina Papa parda pastusa 5	11,75			
026	Harina Papa parda pastusa 6	11,60			
027	Harina Papa parda pastusa 7	11,45			
028	Harina Papa parda pastusa 8	10,85			
029	Harina Papa parda pastusa 9	10,29			
030	Harina Papa parda pastusa 10	10,0			
<b>OBSERVACIONES</b>		<b>RESULTADOS VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA</b>			
<b>Aseguramiento de Calidad de Resultados</b>		Certificado Icontec GP-CER 112092 NTCPR 100:2009 Certificado Icontec SG-CER 110449 ISO 9001:2008 – NTC ISO 9001 : 2008 Certificado IQNET CO-SE CER 110449			

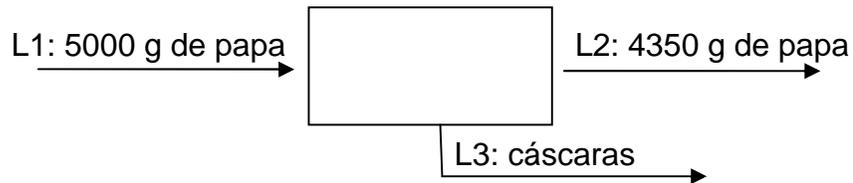
*Original firmado*  
 Gloria Sandra Espinosa Narváez  
 Tec. Laboratorio Bromatología

Elaboró: CSE 08/02/2012  
 Revisó: CSE 08/02/2012

Ciudad Universitaria - Terobajo - Telf 7314477 - 7311449 ext 222, 356 - San Juan de Pasto - Colombia. email: labrom-abono@udenar.edu.co

## Anexo E. Cálculos para los balances de materia para el proceso de secado de papa.

- **Pelado:**



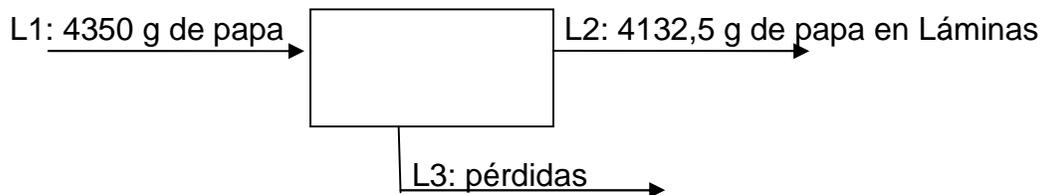
$$L1 = L2 + L3$$

$$L3 = L1 - L2$$

$$L3 = 5000 - 4350$$

$$L3 = 650 \text{ g de cáscaras.}$$

- **Tajado:**



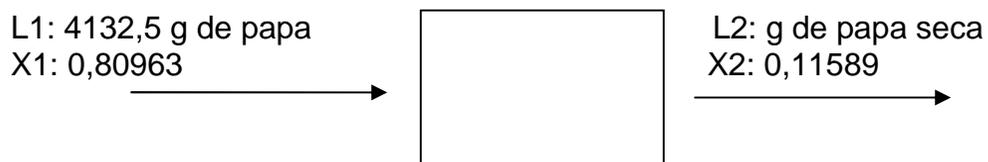
$$L1 = L2 + L3$$

$$L3 = L1 - L2$$

$$L3 = 4350 - 4132,5$$

$$L3 = 217,5 \text{ g de pérdidas.}$$

- **Secado:**



$$L1 (X1) = L2 (X2)$$

$$(4132,5 \text{ g}) (0,80963) = (\text{g papa}) (0,11589)$$

$$\text{g de papa} = 2927,5$$

$$\text{g de papa seca} = 2927,5 \times 0,11589 = 338,8$$

**Anexo F. Cuadros de recopilación de datos en ensayos de secado de papa,  
Objetivo No. 1**

**Cuadro 31.**Recopilación de datos para el proceso de secado de papa a condiciones de 60°C, 10 m/s y 0,4 cm de espesor de lámina. (Ensayo No.1).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	7,938	84,240	1,368	1,624	15	0,000	0,000
15	7,929	84,222	1,472	1,748	15	0,018	0,001
30	7,912	84,189	1,139	1,353	15	0,034	0,002
45	7,885	84,134	1,732	2,059	15	0,054	0,004
60	7,801	83,964	1,076	1,282	15	0,171	0,011
75	7,732	83,820	1,673	1,996	15	0,143	0,010
90	7,643	83,632	1,285	1,536	15	0,188	0,013
105	7,553	83,437	1,863	2,233	15	0,195	0,013
120	7,402	83,099	2,581	3,106	15	0,338	0,023
135	7,143	82,486	1,435	1,740	15	0,613	0,041
150	6,608	81,068	2,352	2,901	15	1,418	0,095
165	5,998	79,143	2,339	2,955	15	1,925	0,128
180	4,983	74,895	2,638	3,522	15	4,248	0,283
195	4,183	70,093	2,295	3,274	15	4,801	0,320
210	3,582	65,075	1,736	2,668	15	5,018	0,335
225	3,131	60,045	2,191	3,649	15	5,031	0,335
240	2,780	55,000	1,638	2,978	15	5,045	0,336
255	2,501	49,980	2,301	4,604	15	5,020	0,335
270	2,274	44,987	1,982	4,406	15	4,993	0,333
285	2,082	39,914	2,466	6,178	15	5,073	0,338
300	1,921	34,878	1,837	5,267	15	5,036	0,336
315	1,784	29,877	2,809	9,402	15	5,001	0,333
330	1,665	24,865	2,784	11,197	15	5,012	0,334
345	1,562	19,910	2,923	14,681	15	4,954	0,330
360	1,479	15,416	2,647	17,171	15	4,495	0,300
375	1,444	13,366	1,895	14,178	15	2,050	0,137
390	1,430	12,517	1,748	13,964	15	0,848	0,057
405	1,427	12,334	1,909	15,478	15	0,184	0,012
420	1,426	12,272	2,372	19,328	15	0,061	0,004
435	1,425	12,211	2,530	20,720	15	0,062	0,004
450	1,424	12,149	1,572	12,939	15	0,062	0,004
465	1,423	12,087	0,603	4,989	15	0,062	0,004
480	1,423	12,087	0,603	4,989	15	0,000	0,000
495	1,423	12,087	0,603	4,989	15	0,000	0,000
510	1,423	12,087	0,603	4,989	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 32.** Recopilación de datos para el proceso de secado de papa a condiciones de 60°C, 10 m/s y 0,2 cm de espesor de lámina. (Ensayo 2).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,546	76,612	0,225	0,294	15	0,000	0,000
15	3,539	76,566	1,735	2,266	15	0,046	0,003
30	3,498	76,291	0,824	1,080	15	0,275	0,018
45	3,458	76,017	1,748	2,299	15	0,274	0,018
60	3,408	75,665	1,641	2,169	15	0,352	0,023
75	3,353	75,266	1,361	1,808	15	0,399	0,027
90	3,243	74,427	2,062	2,771	15	0,839	0,056
105	3,100	73,247	2,758	3,765	15	1,180	0,079
120	2,886	71,264	3,253	4,565	15	1,984	0,132
135	2,553	67,515	2,176	3,223	15	3,748	0,250
150	2,198	62,269	2,132	3,424	15	5,247	0,350
165	1,921	56,828	2,947	5,186	15	5,441	0,363
180	1,706	51,387	1,176	2,289	15	5,441	0,363
195	1,536	46,007	1,472	3,200	15	5,380	0,359
210	1,395	40,550	0,410	1,011	15	5,457	0,364
225	1,277	35,056	0,826	2,356	15	5,493	0,366
240	1,178	29,598	0,360	1,216	15	5,458	0,364
255	1,093	24,123	0,745	3,088	15	5,475	0,365
270	1,019	18,613	0,560	3,009	15	5,510	0,367
285	0,955	13,159	0,873	6,634	15	5,454	0,364
300	0,936	11,396	1,627	14,277	15	1,763	0,118
315	0,925	10,342	1,835	17,743	15	1,054	0,070
330	0,920	9,855	0,327	3,318	15	0,487	0,032
345	0,917	9,560	0,163	1,705	15	0,295	0,020
360	0,917	9,560	0,163	1,705	15	0,000	0,000
375	0,917	9,560	0,163	1,705	15	0,000	0,000
390	0,917	9,560	0,163	1,705	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 33.** Recopilación de datos para el proceso de secado de papa a condiciones de 60°C, 5 m/s y 0,4 cm de espesor de lámina. (Ensayo 3).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	8,767	83,290	0,601	0,722	15	0,000	0,000
15	8,754	83,265	0,639	0,767	15	0,025	0,002
30	8,695	83,151	0,797	0,958	15	0,114	0,008
45	8,603	82,971	0,802	0,967	15	0,180	0,012
60	8,508	82,781	0,705	0,852	15	0,190	0,013
75	8,433	82,628	0,952	1,152	15	0,153	0,010
90	8,333	82,419	0,888	1,077	15	0,208	0,014
105	8,233	82,206	0,637	0,775	15	0,214	0,014
120	8,133	81,987	0,981	1,197	15	0,219	0,015
135	8,003	81,694	0,853	1,044	15	0,293	0,020
150	7,794	81,203	1,437	1,770	15	0,491	0,033
165	7,294	79,915	1,628	2,037	15	1,288	0,086
180	6,573	77,712	1,317	1,695	15	2,203	0,147
195	5,733	74,446	1,738	2,335	15	3,266	0,218
210	4,920	70,224	1,730	2,464	15	4,223	0,282
225	4,302	65,946	1,594	2,417	15	4,278	0,285
240	3,827	61,719	2,970	4,812	15	4,227	0,282
255	3,442	57,438	2,632	4,582	15	4,282	0,285
270	3,128	53,165	1,582	2,976	15	4,273	0,285
285	2,867	48,901	2,539	5,192	15	4,264	0,284
300	2,649	44,696	2,438	5,455	15	4,205	0,280
315	2,459	40,423	0,754	1,865	15	4,273	0,285
330	2,295	36,166	2,308	6,382	15	4,257	0,284
345	2,152	31,924	0,626	1,961	15	4,242	0,283
360	2,027	27,726	1,038	3,744	15	4,198	0,280
375	1,915	23,499	0,429	1,826	15	4,227	0,282
390	1,814	19,239	0,754	3,919	15	4,259	0,284
405	1,724	15,023	0,441	2,935	15	4,216	0,281
420	1,699	13,773	0,696	5,053	15	1,250	0,083
435	1,683	12,953	0,512	3,953	15	0,820	0,055
450	1,677	12,642	0,626	4,952	15	0,311	0,021
465	1,673	12,433	0,505	4,062	15	0,209	0,014
480	1,671	12,328	0,517	4,194	15	0,105	0,007
495	1,670	12,275	0,279	2,273	15	0,052	0,003
510	1,669	12,223	0,171	1,399	15	0,053	0,004
525	1,669	12,223	0,171	1,399	15	0,000	0,000
540	1,669	12,223	0,171	1,399	15	0,000	0,000
555	1,669	12,223	0,171	1,399	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

Fuente: Esta investigación.

**Cuadro 34.** Recopilación de datos para el proceso de secado de papa a condiciones de 60°C, 5 m/s y 0,2 cm de espesor de lámina. (Ensayo 4).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,775	80,980	0,902	1,114	15	0,000	0,000
15	3,708	80,636	0,792	0,982	15	0,344	0,023
30	3,591	80,006	0,933	1,166	15	0,631	0,042
45	3,407	78,926	0,592	0,750	15	1,080	0,072
60	3,171	77,357	1,515	1,958	15	1,568	0,105
75	2,895	75,199	1,372	1,825	15	2,159	0,144
90	2,508	71,372	1,675	2,347	15	3,827	0,255
105	2,155	66,682	1,853	2,779	15	4,689	0,313
120	1,887	61,950	2,332	3,764	15	4,732	0,315
135	1,678	57,211	2,973	5,197	15	4,739	0,316
150	1,511	52,482	1,903	3,626	15	4,729	0,315
165	1,375	47,782	3,928	8,221	15	4,700	0,313
180	1,261	43,061	2,332	5,416	15	4,721	0,315
195	1,165	38,369	2,753	7,175	15	4,692	0,313
210	1,082	33,641	1,903	5,657	15	4,728	0,315
225	1,010	28,911	1,863	6,444	15	4,731	0,315
240	0,946	24,101	1,324	5,493	15	4,809	0,321
255	0,890	19,326	1,63	8,434	15	4,776	0,318
270	0,841	14,625	1,071	7,323	15	4,700	0,313
285	0,826	13,075	1,482	11,335	15	1,550	0,103
300	0,816	12,010	2,145	17,860	15	1,065	0,071
315	0,810	11,358	2,753	24,238	15	0,652	0,043
330	0,807	11,029	1,887	17,110	15	0,330	0,022
345	0,805	10,807	1,736	16,063	15	0,221	0,015
360	0,804	10,697	1,315	12,294	15	0,111	0,007
375	0,803	10,585	0,938	8,861	15	0,111	0,007
390	0,802	10,474	0,528	5,041	15	0,111	0,007
405	0,801	10,362	0,528	5,096	15	0,112	0,007
420	0,801	10,362	0,528	5,096	15	0,000	0,000
435	0,801	10,362	0,528	5,096	15	0,000	0,000
450	0,801	10,362	0,528	5,096	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 35.** Recopilación de datos para el proceso de secado de papa a condiciones de 40°C, 10 m/s y 0,4 cm de espesor de lámina. (Ensayo 5).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	8,498	83,443	0,452	0,542	15	0,000	0,000
15	8,481	83,410	0,637	0,764	15	0,033	0,002
30	8,446	83,341	0,473	0,568	15	0,069	0,005
45	8,394	83,238	0,784	0,942	15	0,103	0,007
60	8,326	83,101	0,745	0,896	15	0,137	0,009
75	8,251	82,948	0,716	0,863	15	0,154	0,010
90	8,166	82,770	0,856	1,034	15	0,177	0,012
105	8,063	82,550	0,964	1,168	15	0,220	0,015
120	7,936	82,271	0,937	1,139	15	0,279	0,019
135	7,806	81,975	0,89	1,086	15	0,295	0,020
150	7,661	81,634	1,027	1,258	15	0,341	0,023
165	7,502	81,245	1,16	1,428	15	0,389	0,026
180	7,337	80,823	1,246	1,542	15	0,422	0,028
195	7,182	80,409	1,253	1,558	15	0,414	0,028
210	7,022	79,963	1,283	1,604	15	0,446	0,030
225	6,772	79,223	1,183	1,493	15	0,740	0,049
240	6,492	78,327	1,174	1,499	15	0,896	0,060
255	6,142	77,092	1,124	1,458	15	1,235	0,082
270	5,792	75,708	1,263	1,668	15	1,384	0,092
285	5,462	74,240	1,384	1,864	15	1,468	0,098
300	5,162	72,743	1,468	2,018	15	1,497	0,100
315	4,876	71,144	1,295	1,820	15	1,599	0,107
330	4,591	69,353	1,473	2,124	15	1,791	0,119
345	4,271	67,057	1,091	1,627	15	2,296	0,153
360	3,908	63,997	1,092	1,706	15	3,060	0,204
375	3,533	60,175	0,953	1,584	15	3,821	0,255
390	3,228	56,413	0,753	1,335	15	3,763	0,251
405	2,971	52,642	0,462	0,878	15	3,770	0,251
420	2,747	48,780	0,627	1,285	15	3,862	0,257
435	2,558	44,996	0,763	1,696	15	3,784	0,252
450	2,390	41,130	0,683	1,661	15	3,866	0,258
465	2,244	37,299	0,669	1,794	15	3,830	0,255
480	2,115	33,475	0,683	2,040	15	3,824	0,255
495	1,999	29,615	0,593	2,002	15	3,860	0,257
510	1,896	25,791	0,672	2,606	15	3,824	0,255
525	1,802	21,920	0,658	3,002	15	3,871	0,258
540	1,718	18,102	0,573	3,165	15	3,818	0,255

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
555	1,690	16,746	0,462	2,759	15	1,357	0,090
570	1,675	16,000	0,528	3,300	15	0,746	0,050
585	1,664	15,445	0,586	3,794	15	0,555	0,037
600	1,654	14,933	0,638	4,272	15	0,511	0,034
615	1,647	14,572	0,186	1,276	15	0,362	0,024
630	1,642	14,312	0,351	2,453	15	0,260	0,017
645	1,638	14,103	0,426	3,021	15	0,209	0,014
660	1,635	13,945	0,714	5,120	15	0,158	0,011
675	1,633	13,840	0,263	1,900	15	0,105	0,007
690	1,631	13,734	0,375	2,730	15	0,106	0,007
705	1,629	13,628	0,812	5,958	15	0,106	0,007
720	1,628	13,575	0,847	6,239	15	0,053	0,004
735	1,627	13,522	0,933	6,900	15	0,053	0,004
750	1,626	13,469	0,968	7,187	15	0,053	0,004
765	1,625	13,415	0,647	4,823	15	0,053	0,004
780	1,624	13,362	0,729	5,456	15	0,053	0,004
795	1,623	13,309	0,628	4,719	15	0,053	0,004
810	1,622	13,255	0,573	4,323	15	0,053	0,004
825	1,621	13,202	0,459	3,477	15	0,054	0,004
840	1,621	13,202	0,459	3,477	15	0,000	0,000
855	1,621	13,202	0,459	3,477	15	0,000	0,000
870	1,621	13,202	0,459	3,477	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 36.** Recopilación de datos para el proceso de secado de papa a condiciones de 40°C, 10 m/s y 0,2 cm de espesor de lámina. (Ensayo 6).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,696	84,118	0,571	0,679	15	0,000	0,000
15	3,675	84,027	0,623	0,741	15	0,091	0,006
30	3,634	83,847	0,672	0,801	15	0,180	0,012
45	3,604	83,713	0,826	0,987	15	0,134	0,009
60	3,571	83,562	1,154	1,381	15	0,151	0,010
75	3,501	83,233	1,438	1,728	15	0,329	0,022
90	3,398	82,725	1,539	1,860	15	0,508	0,034
105	3,299	82,207	1,945	2,366	15	0,518	0,035
120	3,093	81,022	1,824	2,251	15	1,185	0,079
135	2,862	79,490	1,749	2,200	15	1,532	0,102
150	2,592	77,353	1,364	1,763	15	2,136	0,142
tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
165	2,342	74,936	1,438	1,919	15	2,417	0,161
180	2,082	71,806	1,963	2,734	15	3,130	0,209
195	1,854	68,339	2,191	3,206	15	3,467	0,231
210	1,649	64,403	1,537	2,387	15	3,936	0,262
225	1,486	60,498	1,605	2,653	15	3,905	0,260
240	1,350	56,519	2,036	3,602	15	3,979	0,265
255	1,237	52,546	1,409	2,681	15	3,972	0,265
270	1,142	48,599	1,267	2,607	15	3,948	0,263
285	1,061	44,675	1,181	2,644	15	3,924	0,262
300	0,990	40,707	1,231	3,024	15	3,968	0,265
315	0,929	36,814	1,276	3,466	15	3,893	0,260
330	0,875	32,914	1,174	3,567	15	3,899	0,260
345	0,827	29,021	1,349	4,648	15	3,894	0,260
360	0,784	25,128	1,637	6,515	15	3,893	0,260
375	0,745	21,208	1,054	4,970	15	3,919	0,261
390	0,710	17,324	1,073	6,194	15	3,884	0,259
405	0,704	16,619	1,066	6,414	15	0,705	0,047
420	0,699	16,023	1,033	6,447	15	0,596	0,040
435	0,695	15,540	0,133	0,856	15	0,483	0,032
450	0,692	15,173	0,375	2,471	15	0,366	0,024
465	0,690	14,928	0,887	5,942	15	0,246	0,016
480	0,688	14,680	0,563	3,835	15	0,247	0,016
495	0,687	14,556	0,375	2,576	15	0,124	0,008
510	0,686	14,431	0,427	2,959	15	0,125	0,008
525	0,685	14,307	0,585	4,089	15	0,125	0,008
540	0,684	14,181	0,624	4,400	15	0,125	0,008
555	0,683	14,056	0,554	3,941	15	0,126	0,008
570	0,682	13,930	0,394	2,829	15	0,126	0,008

585	0,681	13,803	0,481	3,485	15	0,126	0,008
600	0,680	13,676	0,367	2,683	15	0,127	0,008
615	0,679	13,549	0,175	1,292	15	0,127	0,008
630	0,678	13,422	0,265	1,974	15	0,128	0,009
645	0,677	13,294	0,116	0,873	15	0,128	0,009
660	0,676	13,166	0,296	2,248	15	0,128	0,009
675	0,675	13,037	0,199	1,526	15	0,129	0,009
690	0,674	12,908	0,271	2,099	15	0,129	0,009
705	0,673	12,779	0,238	1,862	15	0,129	0,009
720	0,673	12,779	0,238	1,862	15	0,000	0,000
735	0,673	12,779	0,238	1,862	15	0,000	0,000
750	0,673	12,779	0,238	1,862	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 37.** Recopilación de datos para el proceso de secado de papa a condiciones de 40°C, 5 m/s y 0,4 cm de espesor de lámina. (Ensayo 7).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	8,040	86,953	1,026	1,180	15	0,000	0,000
15	7,997	86,883	0,963	1,108	15	0,070	0,005
30	7,939	86,787	0,876	1,009	15	0,096	0,006
45	7,883	86,693	0,730	0,842	15	0,094	0,006
60	7,823	86,591	0,918	1,060	15	0,102	0,007
75	7,743	86,452	0,849	0,982	15	0,139	0,009
90	7,653	86,293	1,255	1,454	15	0,159	0,011
105	7,544	86,095	1,106	1,285	15	0,198	0,013
120	7,414	85,851	1,124	1,309	15	0,244	0,016
135	7,283	85,597	1,041	1,216	15	0,254	0,017
150	7,133	85,294	1,308	1,534	15	0,303	0,020
165	6,992	84,997	1,150	1,353	15	0,297	0,020
180	6,826	84,632	0,738	0,872	15	0,365	0,024
195	6,657	84,242	0,910	1,080	15	0,390	0,026
210	6,490	83,837	0,973	1,161	15	0,405	0,027
225	6,319	83,399	1,083	1,299	15	0,437	0,029
240	6,136	82,904	1,174	1,416	15	0,495	0,033
255	5,901	82,223	0,927	1,127	15	0,681	0,045
270	5,601	81,271	0,849	1,045	15	0,952	0,063
285	5,262	80,065	0,903	1,128	15	1,207	0,080
300	4,875	78,482	0,995	1,268	15	1,583	0,106
315	4,481	76,590	1,051	1,372	15	1,892	0,126
330	4,111	74,483	1,171	1,572	15	2,107	0,140
345	3,760	72,101	1,845	2,559	15	2,382	0,159
360	3,401	69,156	1,170	1,692	15	2,945	0,196
375	3,112	66,292	0,973	1,468	15	2,864	0,191
390	2,863	63,360	0,803	1,267	15	2,932	0,195
405	2,649	60,400	1,136	1,881	15	2,960	0,197
420	2,467	57,479	1,035	1,801	15	2,921	0,195
435	2,307	54,530	0,941	1,726	15	2,949	0,197
450	2,166	51,570	0,836	1,621	15	2,960	0,197
465	2,043	48,654	0,940	1,932	15	2,916	0,194
480	1,935	45,788	0,587	1,282	15	2,866	0,191
495	1,836	42,865	0,593	1,383	15	2,923	0,195
510	1,746	39,920	0,845	2,117	15	2,945	0,196
525	1,665	36,997	0,711	1,922	15	2,923	0,195
540	1,591	34,067	0,800	2,350	15	2,930	0,195

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
555	1,523	31,123	0,860	2,763	15	2,944	0,196
570	1,462	28,249	1,052	3,724	15	2,874	0,192
585	1,405	25,338	1,003	3,958	15	2,911	0,194
600	1,352	22,411	0,845	3,770	15	2,927	0,195
615	1,303	19,493	0,673	3,452	15	2,918	0,195
630	1,275	17,725	0,743	4,192	15	1,768	0,118
645	1,260	16,746	0,700	4,180	15	0,979	0,065
660	1,251	16,147	0,684	4,236	15	0,599	0,040
675	1,244	15,675	0,632	4,032	15	0,472	0,031
690	1,238	15,267	0,593	3,884	15	0,409	0,027
705	1,233	14,923	0,550	3,686	15	0,344	0,023
720	1,228	14,577	0,638	4,377	15	0,346	0,023
735	1,224	14,297	0,667	4,665	15	0,279	0,0186
750	1,222	14,157	0,704	4,973	15	0,140	0,0094
765	1,220	14,016	0,741	5,287	15	0,141	0,0094
780	1,219	13,946	0,684	4,905	15	0,071	0,0047
795	1,218	13,875	0,577	4,158	15	0,071	0,0047
810	1,217	13,804	0,685	4,962	15	0,071	0,0047
825	1,216	13,734	0,606	4,413	15	0,071	0,0047
840	1,215	13,663	0,574	4,201	15	0,071	0,0047
855	1,214	13,591	0,506	3,723	15	0,071	0,0047
870	1,213	13,520	0,493	3,646	15	0,071	0,0047
885	1,212	13,449	0,451	3,353	15	0,071	0,0048
900	1,212	13,449	0,451	3,353	15	0,000	0,0000
915	1,212	13,449	0,451	3,353	15	0,000	0,0000
930	1,212	13,449	0,451	3,353	15	0,000	0,0000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 38.** Recopilación de datos para el proceso de secado de papa a condiciones de 40°C, 5 m/s y 0,2 cm de espesor de lámina. (Ensayo 8).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,494	83,543	0,534	0,639	15	0,000	0,000
15	3,452	83,343	0,508	0,610	15	0,200	0,013
30	3,387	83,023	0,517	0,623	15	0,320	0,021
45	3,285	82,496	0,637	0,772	15	0,527	0,035
60	3,152	81,758	0,757	0,926	15	0,739	0,049
75	2,977	80,685	1,002	1,242	15	1,072	0,071
90	2,773	79,264	1,055	1,331	15	1,421	0,095
105	2,526	77,237	1,193	1,545	15	2,028	0,135
120	2,250	74,444	0,904	1,214	15	2,792	0,186
135	1,997	71,207	0,881	1,237	15	3,238	0,216
150	1,794	67,949	0,826	1,216	15	3,258	0,217
165	1,623	64,572	0,703	1,089	15	3,377	0,225
180	1,482	61,201	0,692	1,131	15	3,371	0,225
195	1,363	57,814	0,648	1,121	15	3,387	0,226
210	1,261	54,401	0,593	1,090	15	3,412	0,227
225	1,173	50,980	0,517	1,014	15	3,421	0,228
240	1,097	47,584	0,463	0,973	15	3,396	0,226
255	1,030	44,175	0,573	1,297	15	3,410	0,227
270	0,971	40,783	0,628	1,540	15	3,392	0,226
285	0,918	37,364	0,647	1,732	15	3,419	0,228
300	0,871	33,984	0,738	2,172	15	3,380	0,225
315	0,829	30,639	0,864	2,820	15	3,345	0,223
330	0,792	27,399	0,271	0,989	15	3,240	0,216
345	0,757	24,042	0,483	2,009	15	3,357	0,224
360	0,725	20,690	0,593	2,866	15	3,353	0,224
375	0,696	17,385	0,416	2,393	15	3,305	0,220
390	0,687	16,303	0,483	2,963	15	1,082	0,072
405	0,685	16,058	0,602	3,749	15	0,244	0,016
420	0,684	15,936	0,624	3,916	15	0,123	0,008
435	0,683	15,813	0,537	3,396	15	0,123	0,008
450	0,682	15,689	0,584	3,722	15	0,123	0,008
465	0,681	15,565	0,662	4,253	15	0,124	0,008
480	0,680	15,441	0,638	4,132	15	0,124	0,008
495	0,679	15,317	0,854	5,576	15	0,125	0,008
510	0,678	15,192	0,974	6,411	15	0,125	0,008
525	0,677	15,066	1,209	8,024	15	0,125	0,008
540	0,676	14,941	1,135	7,597	15	0,126	0,008

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
555	0,675	14,815	0,958	6,466	15	0,126	0,008
570	0,674	14,688	0,971	6,611	15	0,126	0,008
585	0,673	14,562	1,099	7,547	15	0,127	0,008
600	0,672	14,435	1,108	7,676	15	0,127	0,008
615	0,671	14,307	1,123	7,849	15	0,128	0,009
630	0,670	14,179	0,984	6,940	15	0,128	0,009
645	0,669	14,051	0,935	6,654	15	0,128	0,009
660	0,668	13,922	0,785	5,638	15	0,129	0,009
675	0,667	13,793	0,638	4,626	15	0,129	0,009
690	0,666	13,664	0,627	4,589	15	0,129	0,009
705	0,665	13,534	0,614	4,537	15	0,130	0,009
720	0,664	13,404	0,694	5,178	15	0,130	0,009
735	0,663	13,273	0,741	5,583	15	0,131	0,009
750	0,662	13,142	0,715	5,441	15	0,131	0,009
765	0,661	13,011	0,689	5,296	15	0,131	0,009
780	0,661	13,011	0,689	5,296	15	0,000	0,000
795	0,661	13,011	0,689	5,296	15	0,000	0,000
810	0,661	13,011	0,689	5,296	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Anexo G.** Cuadros de recopilación de datos en ensayos de optimización de secado de papa, Objetivo No. 2

**Cuadro 39.** Recopilación de datos para el proceso de optimización de secado de papa a condiciones de 48°C y 8m/s. (Ensayo de optimización No.1).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,478	78,781	0,703	0,892	15	0,000	0,000
15	3,375	78,133	0,963	1,233	15	0,648	0,043
30	3,132	76,437	1,877	2,456	15	1,697	0,113
45	2,844	74,051	1,483	2,003	15	2,386	0,159
60	2,529	70,819	2,699	3,811	15	3,232	0,215
75	2,279	67,617	3,371	4,985	15	3,201	0,213
90	2,076	64,451	3,478	5,396	15	3,167	0,211
105	1,906	61,280	3,081	5,028	15	3,171	0,211
120	1,761	58,092	2,148	3,698	15	3,188	0,213
135	1,635	54,862	2,738	4,991	15	3,230	0,215
150	1,525	51,607	1,457	2,823	15	3,256	0,217
165	1,429	48,355	1,538	3,181	15	3,251	0,217
180	1,344	45,089	0,961	2,131	15	3,266	0,218
195	1,268	41,798	1,273	3,046	15	3,291	0,219
210	1,201	38,551	1,310	3,398	15	3,247	0,216
225	1,141	35,320	1,638	4,638	15	3,231	0,215
240	1,087	32,107	1,720	5,357	15	3,213	0,214
255	1,038	28,902	1,092	3,778	15	3,205	0,214
270	0,993	25,680	0,638	2,484	15	3,222	0,215
285	0,952	22,479	0,310	1,379	15	3,201	0,213
300	0,915	19,344	0,738	3,815	15	3,135	0,209
315	0,881	16,232	0,607	3,740	15	3,113	0,208
330	0,867	14,879	0,527	3,542	15	1,353	0,090
345	0,863	14,484	0,463	3,197	15	0,395	0,026
360	0,860	14,186	0,427	3,010	15	0,298	0,020
375	0,858	13,986	0,317	2,267	15	0,200	0,013
390	0,857	13,886	0,483	3,478	15	0,100	0,007
405	0,856	13,785	0,768	5,571	15	0,101	0,007
420	0,855	13,684	0,628	4,589	15	0,101	0,007
435	0,854	13,583	0,536	3,946	15	0,101	0,007
450	0,853	13,482	0,426	3,160	15	0,101	0,007
465	0,852	13,380	0,321	2,399	15	0,102	0,007
480	0,851	13,278	0,426	3,208	15	0,102	0,007
495	0,850	13,176	0,351	2,664	15	0,102	0,007

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
510	0,849	13,074	0,284	2,172	15	0,102	0,007
525	0,848	12,972	0,228	1,758	15	0,103	0,007
540	0,847	12,869	0,301	2,339	15	0,103	0,007
555	0,846	12,766	0,323	2,530	15	0,103	0,007
570	0,845	12,663	0,287	2,266	15	0,103	0,007
585	0,844	12,559	0,226	1,799	15	0,103	0,007
600	0,844	12,559	0,226	1,799	15	0,000	0,000
615	0,844	12,559	0,226	1,799	15	0,000	0,000
630	0,844	12,559	0,226	1,799	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

Fuente: Esta investigación.

**Cuadro 40.** Recopilación de datos para el proceso optimización de secado de papa a condiciones de 50°C y 6 m/s. (Ensayo de optimización No.2).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,559	82,551	0,194	0,235	15	0,000	0,000
15	3,462	82,062	0,271	0,330	15	0,489	0,033
30	3,242	80,845	1,367	1,691	15	1,217	0,081
45	2,952	78,963	1,367	1,731	15	1,882	0,125
60	2,659	76,645	1,264	1,649	15	2,318	0,155
75	2,388	73,995	1,400	1,892	15	2,650	0,177
90	2,145	71,049	1,375	1,935	15	2,946	0,196
105	1,928	67,790	1,528	2,254	15	3,258	0,217
120	1,751	64,535	1,748	2,709	15	3,256	0,217
135	1,603	61,260	2,749	4,487	15	3,274	0,218
150	1,476	57,927	2,257	3,896	15	3,333	0,222
165	1,368	54,605	2,512	4,600	15	3,322	0,221
180	1,275	51,294	2,034	3,965	15	3,311	0,221
195	1,193	47,946	1,640	3,420	15	3,348	0,223
210	1,121	44,603	1,842	4,130	15	3,343	0,223
225	1,058	41,304	1,910	4,624	15	3,299	0,220
240	1,002	38,024	1,146	3,014	15	3,280	0,219
255	0,951	34,700	1,035	2,983	15	3,324	0,222
270	0,905	31,381	1,638	5,220	15	3,319	0,221
285	0,863	28,042	2,219	7,913	15	3,340	0,223
300	0,825	24,727	2,350	9,504	15	3,314	0,221
315	0,790	21,392	1,227	5,736	15	3,335	0,222
330	0,759	18,182	0,835	4,593	15	3,211	0,214

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %	t*	H*	H/ t*
345	0,733	15,280	0,723	4,732	15	2,902	0,193
360	0,725	14,345	0,638	4,448	15	0,935	0,062
375	0,722	13,989	0,537	3,839	15	0,356	0,024
390	0,720	13,750	0,726	5,280	15	0,239	0,016
405	0,719	13,630	0,640	4,696	15	0,120	0,008
420	0,718	13,510	0,628	4,648	15	0,120	0,008
435	0,717	13,389	0,462	3,451	15	0,121	0,008
450	0,716	13,268	0,342	2,578	15	0,121	0,008
465	0,715	13,147	0,475	3,613	15	0,121	0,008
480	0,714	13,025	0,493	3,785	15	0,122	0,008
495	0,713	12,903	0,362	2,806	15	0,122	0,008
510	0,712	12,781	0,291	2,277	15	0,122	0,008
525	0,711	12,658	0,242	1,912	15	0,123	0,008
540	0,710	12,535	0,152	1,213	15	0,123	0,008
555	0,709	12,412	0,042	0,338	15	0,123	0,008
570	0,709	12,412	0,042	0,338	15	0,000	0,000
585	0,709	12,412	0,042	0,338	15	0,000	0,000
600	0,709	12,412	0,042	0,338	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 41.** Recopilación de datos para el proceso de optimización de secado de papa a condiciones de 50°C y 10 m/s. (Ensayo de optimización No.3).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,564	81,902	0,725	0,885	15	0,000	0,000
15	3,452	81,315	0,962	1,183	15	0,587	0,039
30	3,302	80,466	1,602	1,991	15	0,849	0,057
45	3,092	79,140	1,881	2,377	15	1,327	0,088
60	2,824	77,160	2,093	2,713	15	1,980	0,132
75	2,549	74,696	2,150	2,878	15	2,464	0,164
90	2,287	71,797	2,218	3,089	15	2,899	0,193
105	2,057	68,644	2,632	3,834	15	3,153	0,210
120	1,858	65,285	5,000	7,659	15	3,358	0,224
135	1,690	61,834	3,372	5,453	15	3,451	0,230
150	1,550	58,387	2,830	4,847	15	3,447	0,230
165	1,432	54,958	2,282	4,152	15	3,429	0,229
180	1,330	51,504	1,103	2,142	15	3,454	0,230
195	1,241	48,026	2,472	5,147	15	3,478	0,232
210	1,164	44,588	2,175	4,878	15	3,438	0,229
225	1,097	41,203	2,004	4,864	15	3,384	0,226
240	1,038	37,861	1,851	4,889	15	3,342	0,223
255	0,985	34,518	1,463	4,238	15	3,344	0,223
270	0,937	31,163	1,067	3,424	15	3,354	0,224
285	0,893	27,772	0,972	3,500	15	3,392	0,226
300	0,853	24,385	0,674	2,764	15	3,387	0,226
315	0,817	21,053	0,501	2,380	15	3,332	0,222
330	0,784	17,730	0,375	2,115	15	3,323	0,222
345	0,755	14,570	0,429	2,945	15	3,160	0,211
360	0,747	13,655	0,495	3,625	15	0,915	0,061
375	0,745	13,423	0,551	4,105	15	0,232	0,015
390	0,744	13,306	0,637	4,787	15	0,116	0,008
405	0,743	13,190	0,850	6,444	15	0,117	0,008
420	0,742	13,073	0,935	7,152	15	0,117	0,008
435	0,741	12,955	0,808	6,237	15	0,117	0,008
450	0,740	12,838	0,748	5,827	15	0,118	0,008
465	0,739	12,720	0,640	5,031	15	0,118	0,008
480	0,738	12,602	0,537	4,261	15	0,118	0,008
495	0,737	12,483	0,325	2,604	15	0,119	0,008
510	0,736	12,412	0,361	2,909	15	0,071	0,005
525	0,736	12,364	0,340	2,750	15	0,048	0,003
540	0,736	12,364	0,340	2,750	15	0,000	0,000
555	0,736	12,364	0,340	2,750	15	0,000	0,000
570	0,736	12,364	0,340	2,750	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 42.** Recopilación de datos para el proceso de optimización de secado de papa a condiciones de 54°C 5m/s. (Ensayo de optimización No.4).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,621	82,063	0,436	0,531	15	0,000	0,000
15	3,597	81,943	0,753	0,919	15	0,120	0,008
30	3,561	81,761	1,826	2,233	15	0,183	0,012
45	3,492	81,400	2,710	3,329	15	0,360	0,024
60	3,372	80,738	3,998	4,952	15	0,662	0,044
75	3,182	79,588	2,866	3,601	15	1,150	0,077
90	2,913	77,703	2,657	3,419	15	1,885	0,126
105	2,597	74,990	2,854	3,806	15	2,713	0,181
120	2,259	71,248	3,284	4,609	15	3,742	0,249
135	2,001	67,541	2,749	4,070	15	3,707	0,247
150	1,793	63,776	2,154	3,377	15	3,765	0,251
165	1,627	60,080	1,536	2,557	15	3,696	0,246
180	1,489	56,380	0,865	1,534	15	3,700	0,247
195	1,371	52,626	0,720	1,368	15	3,754	0,250
210	1,271	48,899	0,684	1,399	15	3,727	0,248
225	1,183	45,097	0,597	1,324	15	3,801	0,253
240	1,108	41,381	0,735	1,776	15	3,716	0,248
255	1,041	37,608	0,842	2,239	15	3,773	0,252
270	0,983	33,927	0,642	1,892	15	3,681	0,245
285	0,931	30,236	0,604	1,998	15	3,690	0,246
300	0,885	26,610	0,695	2,612	15	3,626	0,242
315	0,843	22,954	0,572	2,492	15	3,656	0,244
330	0,805	19,317	0,574	2,972	15	3,637	0,242
345	0,770	15,649	0,648	4,141	15	3,667	0,244
360	0,755	13,974	0,473	3,385	15	1,676	0,112
375	0,749	13,284	0,395	2,973	15	0,689	0,046
390	0,747	13,052	0,362	2,773	15	0,232	0,015
405	0,746	12,936	0,242	1,871	15	0,117	0,008
420	0,745	12,819	0,205	1,599	15	0,117	0,008
435	0,744	12,702	0,261	2,055	15	0,117	0,008
450	0,743	12,584	0,182	1,446	15	0,117	0,008
465	0,742	12,466	0,135	1,083	15	0,118	0,008
480	0,741	12,348	0,112	0,907	15	0,118	0,008
495	0,74	12,230	0,085	0,695	15	0,118	0,008
510	0,74	12,230	0,085	0,695	15	0,000	0,000
525	0,74	12,230	0,085	0,695	15	0,000	0,000
540	0,74	12,230	0,085	0,695	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 43.** Recopilación de datos para el proceso de optimización de secado de papa a condiciones de 54°C y 6 m/s. (Ensayo de optimización No.5).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,673	79,717	1,716	2,153	15	0,000	0,000
15	3,626	79,454	1,023	1,288	15	0,263	0,018
30	3,529	78,889	0,894	1,133	15	0,565	0,038
45	3,378	77,946	0,926	1,188	15	0,944	0,063
60	3,198	76,704	1,173	1,529	15	1,241	0,083
75	2,908	74,381	0,836	1,124	15	2,323	0,155
90	2,561	70,910	0,679	0,958	15	3,471	0,231
105	2,268	67,152	0,749	1,115	15	3,758	0,251
120	2,034	63,373	0,825	1,302	15	3,779	0,252
135	1,844	59,599	0,718	1,205	15	3,774	0,252
150	1,688	55,865	0,628	1,124	15	3,734	0,249
165	1,556	52,121	0,463	0,888	15	3,744	0,250
180	1,442	48,336	0,316	0,654	15	3,785	0,252
195	1,344	44,568	0,472	1,059	15	3,767	0,251
210	1,258	40,779	0,537	1,317	15	3,789	0,253
225	1,183	37,025	0,601	1,623	15	3,755	0,250
240	1,117	33,303	0,622	1,868	15	3,721	0,248
255	1,058	29,584	0,637	2,153	15	3,719	0,248
270	1,005	25,871	0,738	2,853	15	3,713	0,248
285	0,957	22,153	0,827	3,733	15	3,718	0,248
300	0,914	18,490	0,860	4,651	15	3,662	0,244
315	0,875	14,857	0,975	6,563	15	3,633	0,242
330	0,865	13,873	0,824	5,940	15	0,984	0,066
345	0,861	13,473	0,871	6,465	15	0,400	0,027
360	0,858	13,170	0,724	5,497	15	0,303	0,020
375	0,856	12,967	0,637	4,912	15	0,203	0,014
390	0,855	12,865	0,234	1,819	15	0,102	0,007
405	0,854	12,763	0,448	3,510	15	0,102	0,007
420	0,852	12,559	0,423	3,368	15	0,205	0,014
435	0,850	12,353	0,527	4,266	15	0,206	0,014
450	0,849	12,250	0,638	5,208	15	0,103	0,007
465	0,848	12,188	0,761	6,244	15	0,062	0,004
480	0,848	12,188	0,761	6,244	15	0,000	0,000
495	0,848	12,188	0,761	6,244	15	0,000	0,000
510	0,848	12,188	0,761	6,244	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 44.** Recopilación de datos para el proceso de optimización de secado de papa a condiciones de 54°C y 8 m/s. (Ensayo de optimización No.6).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,684	79,126	0,954	1,206	15	0,000	0,000
15	3,677	79,086	1,362	1,722	15	0,040	0,003
30	3,664	79,012	1,990	2,519	15	0,074	0,005
45	3,650	78,932	1,826	2,313	15	0,081	0,005
60	3,625	78,786	1,791	2,273	15	0,145	0,010
75	3,571	78,465	1,982	2,526	15	0,321	0,021
90	3,443	77,665	2,139	2,754	15	0,801	0,053
105	3,237	76,243	1,827	2,396	15	1,421	0,095
120	2,919	73,655	1,741	2,364	15	2,588	0,173
135	2,558	69,937	1,684	2,408	15	3,718	0,248
150	2,267	66,079	1,526	2,309	15	3,859	0,257
165	2,032	62,156	1,257	2,022	15	3,923	0,262
180	1,840	58,207	1,064	1,828	15	3,949	0,263
195	1,679	54,199	0,961	1,773	15	4,008	0,267
210	1,545	50,227	0,864	1,720	15	3,972	0,265
225	1,432	46,299	0,537	1,160	15	3,928	0,262
240	1,333	42,311	0,539	1,274	15	3,988	0,266
255	1,247	38,332	0,615	1,604	15	3,979	0,265
270	1,171	34,330	0,638	1,858	15	4,002	0,267
285	1,104	30,344	0,645	2,126	15	3,985	0,266
300	1,044	26,341	0,730	2,771	15	4,003	0,267
315	0,991	22,402	0,850	3,794	15	3,939	0,263
330	0,943	18,452	0,940	5,094	15	3,950	0,263
345	0,901	14,650	0,647	4,416	15	3,801	0,253
360	0,890	13,596	0,572	4,207	15	1,055	0,070
375	0,885	13,107	0,427	3,258	15	0,488	0,033
390	0,882	12,812	0,308	2,404	15	0,296	0,020
405	0,880	12,614	0,291	2,307	15	0,198	0,013
420	0,878	12,415	0,261	2,102	15	0,199	0,013
435	0,876	12,215	0,259	2,120	15	0,200	0,013
450	0,875	12,114	0,362	2,988	15	0,100	0,007
465	0,874	12,014	0,122	1,016	15	0,101	0,007
480	0,874	12,014	0,122	1,016	15	0,000	0,000
495	0,874	12,014	0,122	1,016	15	0,000	0,000
510	0,874	12,014	0,122	1,016	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 45.** Recopilación de datos para el proceso de optimización de secado de papa a condiciones de 54°C y 10. (Ensayo de optimización No 7).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,613	79,961	0,967	1,209	15	0,000	0,000
15	3,598	79,878	1,486	1,860	15	0,084	0,006
30	3,571	79,726	1,493	1,873	15	0,152	0,010
45	3,537	79,531	1,565	1,968	15	0,195	0,013
60	3,487	79,237	1,638	2,067	15	0,294	0,020
75	3,408	78,756	1,706	2,166	15	0,481	0,032
90	3,302	78,074	1,428	1,829	15	0,682	0,045
105	3,146	76,987	1,342	1,743	15	1,087	0,072
120	2,912	75,137	1,273	1,694	15	1,849	0,123
135	2,597	72,122	1,162	1,611	15	3,016	0,201
150	2,264	68,021	0,966	1,420	15	4,100	0,273
165	2,007	63,926	0,907	1,419	15	4,095	0,273
180	1,798	59,733	0,326	0,546	15	4,193	0,280
195	1,630	55,583	0,428	0,770	15	4,150	0,277
210	1,492	51,475	0,527	1,024	15	4,108	0,274
225	1,376	47,384	0,527	1,112	15	4,091	0,273
240	1,275	43,216	0,645	1,493	15	4,168	0,278
255	1,189	39,108	0,746	1,908	15	4,107	0,274
270	1,113	34,951	0,816	2,335	15	4,158	0,277
285	1,046	30,784	0,927	3,011	15	4,167	0,278
300	0,988	26,721	1,002	3,750	15	4,063	0,271
315	0,935	22,567	1,251	5,544	15	4,154	0,277
330	0,887	18,377	0,917	4,990	15	4,190	0,279
345	0,844	14,218	0,826	5,810	15	4,159	0,277
360	0,830	12,771	0,728	5,700	15	1,447	0,096
375	0,827	12,455	0,638	5,123	15	0,316	0,021
390	0,825	12,242	0,589	4,811	15	0,212	0,014
405	0,824	12,136	0,472	3,889	15	0,107	0,007
420	0,823	12,029	0,326	2,710	15	0,107	0,007
435	0,822	11,922	0,249	2,089	15	0,107	0,007
450	0,822	11,922	0,249	2,089	15	0,000	0,000
465	0,822	11,922	0,249	2,089	15	0,000	0,000
480	0,822	11,922	0,249	2,089	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 46.** Recopilación de datos para el proceso de optimización de secado de papa a condiciones de 58°C y 6 m/s. (Ensayo de optimización No.8).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,563	80,943	0,402	0,497	15	0,000	0,000
15	3,528	80,754	1,526	1,890	15	0,189	0,013
30	3,455	80,347	2,033	2,530	15	0,407	0,027
45	3,368	79,840	1,927	2,414	15	0,508	0,034
60	3,266	79,210	1,590	2,007	15	0,630	0,042
75	3,116	78,209	1,928	2,465	15	1,001	0,067
90	2,896	76,554	2,204	2,879	15	1,655	0,110
105	2,629	74,173	2,479	3,342	15	2,381	0,159
120	2,328	70,833	2,766	3,905	15	3,339	0,223
135	2,029	66,535	2,547	3,828	15	4,298	0,287
150	1,795	62,173	2,355	3,788	15	4,363	0,291
165	1,610	57,826	1,974	3,414	15	4,347	0,290
180	1,459	53,461	1,893	3,541	15	4,365	0,291
195	1,333	49,062	1,430	2,915	15	4,399	0,293
210	1,228	44,707	1,273	2,847	15	4,355	0,290
225	1,138	40,334	1,123	2,784	15	4,373	0,292
240	1,061	36,004	1,328	3,689	15	4,330	0,289
255	0,993	31,621	1,270	4,016	15	4,382	0,292
270	0,933	27,224	0,981	3,603	15	4,397	0,293
285	0,880	22,841	0,917	4,015	15	4,383	0,292
300	0,833	18,487	0,828	4,479	15	4,354	0,290
315	0,791	14,159	0,738	5,212	15	4,328	0,289
330	0,777	12,613	0,680	5,391	15	1,547	0,103
345	0,772	12,047	0,536	4,449	15	0,566	0,038
360	0,769	11,704	0,472	4,033	15	0,343	0,023
375	0,768	11,589	0,398	3,434	15	0,115	0,008
390	0,768	11,589	0,398	3,434	15	0,000	0,000
405	0,768	11,589	0,398	3,434	15	0,000	0,000
420	0,768	11,589	0,398	3,434	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 47.**Recopilación de datos para el proceso de optimización de secado de papa a condiciones de 58°C y 10 m/s. (Ensayo de optimización No.9).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,407	81,509	0,781	0,958	15	0,000	0,000
15	3,368	81,295	1,693	2,083	15	0,214	0,014
30	3,269	80,728	1,661	2,058	15	0,566	0,038
45	3,126	79,846	1,333	1,669	15	0,882	0,059
60	2,898	78,261	1,621	2,071	15	1,586	0,106
75	2,601	75,779	1,425	1,880	15	2,482	0,165
90	2,243	71,913	1,168	1,624	15	3,866	0,258
105	1,935	67,442	0,937	1,389	15	4,471	0,298
120	1,702	62,985	0,826	1,311	15	4,457	0,297
135	1,521	58,580	0,751	1,282	15	4,405	0,294
150	1,376	54,215	0,382	0,705	15	4,365	0,291
165	1,255	49,801	0,163	0,327	15	4,414	0,294
180	1,152	45,313	0,271	0,598	15	4,488	0,299
195	1,065	40,845	0,301	0,737	15	4,467	0,298
210	0,990	36,364	0,327	0,899	15	4,481	0,299
225	0,925	31,892	0,538	1,687	15	4,472	0,298
240	0,868	27,419	0,649	2,367	15	4,473	0,298
255	0,818	22,983	0,728	3,168	15	4,436	0,296
270	0,773	18,499	0,637	3,443	15	4,484	0,299
285	0,733	14,052	0,571	4,064	15	4,448	0,297
300	0,709	11,142	0,482	4,326	15	2,909	0,194
315	0,707	10,891	0,372	3,416	15	0,251	0,017
330	0,706	10,765	0,261	2,425	15	0,126	0,008
345	0,705	10,638	0,140	1,316	15	0,127	0,008
360	0,705	10,638	0,140	1,316	15	0,000	0,000
375	0,705	10,638	0,140	1,316	15	0,000	0,000
390	0,705	10,638	0,140	1,316	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.

**Cuadro 48.** Recopilación de datos para el proceso de optimización de secado de papa a condiciones de 59°C y 8m/s. (Ensayo de optimización No.10).

tiempo (min)*	Pesos (g)*	Humedad (%)*	Desviación Estándar*	CV %*	t*	H*	H/ t*
0	3,623	81,645	0,921	1,128	15	0,000	0,000
15	3,504	81,022	1,401	1,729	15	0,623	0,042
30	3,348	80,137	1,419	1,771	15	0,884	0,059
45	3,152	78,902	1,837	2,328	15	1,235	0,082
60	2,908	77,132	2,168	2,811	15	1,770	0,118
75	2,562	74,044	1,601	2,162	15	3,088	0,206
90	2,187	69,593	1,593	2,289	15	4,451	0,297
105	1,899	64,982	1,580	2,431	15	4,611	0,307
120	1,677	60,346	1,362	2,257	15	4,636	0,309
135	1,502	55,726	1,104	1,981	15	4,620	0,308
150	1,357	50,995	1,090	2,137	15	4,731	0,315
165	1,238	46,284	0,932	2,014	15	4,711	0,314
180	1,139	41,615	0,947	2,276	15	4,669	0,311
195	1,055	36,967	0,827	2,237	15	4,649	0,310
210	0,982	32,281	0,736	2,280	15	4,686	0,312
225	0,918	27,560	1,192	4,325	15	4,721	0,315
240	0,862	22,854	0,927	4,056	15	4,706	0,314
255	0,813	18,204	0,637	3,499	15	4,650	0,310
270	0,770	13,636	0,534	3,916	15	4,568	0,305
285	0,747	10,977	0,483	4,400	15	2,659	0,177
300	0,745	10,738	0,429	3,995	15	0,239	0,016
315	0,743	10,498	0,372	3,544	15	0,240	0,016
330	0,742	10,377	0,172	1,657	15	0,121	0,008
345	0,741	10,256	0,028	0,273	15	0,121	0,008
360	0,741	10,256	0,028	0,273	15	0,000	0,000
375	0,741	10,256	0,028	0,273	15	0,000	0,000
390	0,741	10,256	0,028	0,273	15	0,000	0,000

\* Valores promedios (n = 3)

**Fuente:** Esta investigación.