

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA  
ARGUEDAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL**



Presentado por

**Br. ROSSEL RICRA TITO**

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE  
AIRE DE SECADO POR CONVECCIÓN EN LAS  
PROPIEDADES FUNCIONALES Y EL COLOR DE LA  
HARINA DE PAPA AMARILLA TUMBAY (*Solanum  
goniocalyx*)**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ANDAHUAYLAS – APURÍMAC - PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



Presentado por

**Br. ROSSEL RICRA TITO**

**EFEECTO DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE  
AIRE DE SECADO POR CONVECCIÓN EN LAS  
PROPIEDADES FUNCIONALES Y EL COLOR DE LA  
HARINA DE PAPA AMARILLA TUMBAY (*Solanum  
goniocalyx*)**

Asesor:

**Ing. MSc. THOMAS ANCCO VIZCARRA**

Co-Asesor:

**Ing. GINA GENOVEVA TORO RODRIGUEZ**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ANDAHUAYLAS – APURÍMAC - PERÚ**

**2019**



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APROBACIÓN DEL ASESOR Y CO-ASESOR**

Los que suscriben:

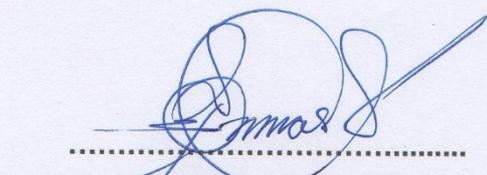
Ing. MSc. THOMAS ANCCO VIZCARRA e Ing. GINA G. TORO RODRIGUEZ, por la presente:

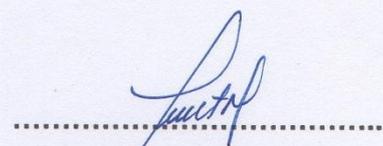
**CERTIFICAN,**

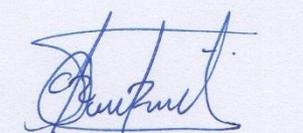
Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, ROSSEL RICRA TITO ha culminado satisfactoriamente el Informe Final de Tesis intitulado:

**“EFECTO DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO POR CONVECCIÓN EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y EL COLOR DE LA HARINA DE PAPA AMARILLA TUMBAY (*SOLANUM GONIOCALYX*)”;** para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Andahuaylas, 28 de Agosto de 2019.

  
.....  
Ing. MSc. Thomas Ancco Vizcarra  
**Asesor de Tesis**

  
.....  
Ing. Gina G. Toro Rodriguez  
**Co-Asesora de Tesis**

  
.....  
Br. Rosel Ricra Tito  
**Tesista**



Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo



FACULTAD DE INGENIERÍA

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTECIDAD

Yo, Rossel Ricra Tito identificado con DNI N° 77220863 de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial. Declaro bajo juramento que el informe final de tesis intitulado **“EFECTO DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO POR CONVECCIÓN EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y EL COLOR DE LA HARINA DE PAPA AMARILLA TUMBAY (*SOLANUM GONIOCALYX*)”**. Es auténtico y no vulnera los derechos de autor. Además, su contenido es de entera responsabilidad del autor del proyecto, quedando la UNAJMA exenta de toda responsabilidad en caso de atentar contra la Ley de propiedad intelectual y derechos de autor.

Andahuaylas, 28 de Agosto de 2019

.....  
DNI: 77220863

E-mail. [rosselricra@gmail.com](mailto:rosselricra@gmail.com)

N° Cel.: 946764681



FACULTAD DE INGENIERÍA

APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

LA TESIS: “EFECTO DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO POR CONVECCIÓN EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y EL COLOR DE LA HARINA DE PAPA AMARILLA TUMBAY (*SOLANUM GONIOCALYX*)”; para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, ha sido evaluada por el Jurado Dictaminador conformado por:

**Presidente:** Ing. MSc. David Choque Quispe

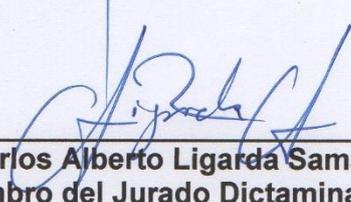
**Primer Miembro:** Ing. MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez

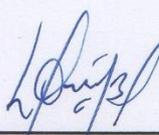
**Segundo Miembro:** Ing. MSc. Abel Isaías Barrial Lujan

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 02 del mes de Agosto de 2019.

Andahuaylas, 28 de Agosto de 2019.

  
Ing. MSc. David Choque Quispe  
Presidente del Jurado Dictaminador

  
Ing. MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez  
Primer Miembro del Jurado Dictaminador

  
Ing. MSc. Abel Isaías Barrial Lujan  
Segundo Miembro del Jurado Dictaminador



## FACULTAD DE INGENIERIA

### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En la Av. 28 de julio N° 1103 del Local Académico SL02 (Santa Rosa) en el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de Talavera de la Reyna de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 09:00 horas del día 02 de agosto del año 2019, se reunieron los docentes: MSc. David Choque Quispe, MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez, MSc. Abel Isaiás Barrial Lujan, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "EFECTO DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO POR CONVECCIÓN EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y EL COLOR DE LA HARINA DE PAPA AMARILLA TUMBAY (*SALANUM GONIOCALYX*)", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **ROSSEL RICRA TITO**, el asesor MSc. Thomas Ancco Vizcarra y la Co-asesora Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la tesis, el Jurado Evaluador **ACORDÓ:** Aprobar por unanimidad al Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **ROSSEL RICRA TITO**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
17	Diecisiete	Muy Buena

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

.....  
MSc. David Choque Quispe  
Presidente del Jurado Evaluador

.....  
MSc. Carlos Alberto Ligarda Samanez  
Primer Miembro del Jurado Evaluador

.....  
MSc. Abel Isaiás Barrial Lujan  
Segundo Miembro del Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la vida y permitirme llegar a este momento tan especial de mi vida.

A mis padres Cecilia y Pedro, por su inmensa preocupación que tuvieron en mi educación y por inculcarme principios y valores; quienes hoy me protegen, me dan fuerzas y me guían desde el cielo.

**Ricra, R.**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis hermanos (as), por haberme brindado su apoyo incondicional durante toda mi vida universitaria.

A la Universidad Nacional José María Arguedas y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por haberme permitido formarme en ella y brindarme las facilidades para la ejecución de esta Tesis.

A mis asesores, MSc. Thomas Ancco Vizcarra e Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez, por haberme brindado su apoyo y orientación en todas las etapas del desarrollo de la presente Tesis.

A los miembros del jurado evaluador, MSc. David Choque Quispe, MSc Carlos Alberto Ligarda Samanez y MSc Abel Isaías Barrial Lujan, por sus relevantes aportes, comentarios y sugerencias durante el desarrollo de esta investigación.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por su infinita paciencia en la contribución de sus conocimientos y experiencias a lo largo de toda mi formación profesional.

A mis amigos (as) y compañeros(as): Yuzemia, Yenir, Darwin, Miguel, Marianela, Cilma, Liliana, Anamelba y Ruthsana, por sus apoyos y experiencias compartidas.

## ÍNDICE GENERAL

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
CHUMASQA.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES .....	4
CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO .....	7
3.1 Generalidades de la papa .....	7
3.2 Harina de papa .....	9
3.3 Teoría de secado.....	10
3.4 Propiedades funcionales.....	14
2.5 Color.....	16
2.6 Marco conceptual .....	20
CAPÍTULO 4: MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
3.1 Lugar de ejecución .....	22
3.2 Población y muestra .....	22
3.3.1 Materiales .....	23
3.3.2 Equipos e instrumentos de laboratorio.....	23
3.3.3 Reactivos.....	24
3.4 Metodología experimental.....	24
3.4.1 Obtención de harina de papa Amarilla Tumbay .....	24
3.4.2 Determinación de las propiedades funcionales.....	27
3.4.3 Determinación del color .....	29
3.5 Diseño experimental y análisis estadístico .....	30
3.5.1 Diseño experimental .....	30
3.5.2 Análisis estadístico .....	32
CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	36
4.1 Efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado en las propiedades funcionales .....	36
4.1.1 Capacidad de retención de agua .....	36
4.1.2 Porcentaje de solubilidad.....	39
4.1.3 Poder de hinchamiento.....	42
4.2 Efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado en el color .....	46

4.2.1 Coordenada L*	46
4.2.2 Coordenada cromática a*	49
4.2.3 Coordenada cromática b*	51
4.2.4 Variación total del color	55
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
SUGERENCIAS	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXO	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la papa .....	9
Tabla 2. Materiales de laboratorio.....	23
Tabla 3. Equipos e instrumentos de laboratorio .....	23
Tabla 4. Reactivos .....	24
Tabla 5. Tratamientos de la investigación y factores aleatorizados.....	32
Tabla 6. Tabla de análisis de varianza (ANVA).....	33
Tabla 7. Capacidad de retención de agua.....	36
Tabla 8. Porcentaje de solubilidad .....	39
Tabla 9. Poder de hinchamiento .....	43
Tabla 10. Coordenada L* del color .....	46
Tabla 11. Coordenada cromática a* del color .....	49
Tabla 12. Coordenada cromática b* del color .....	52
Tabla 13. Variación total del color.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de color CIE L*a*b* .....	19
Figura 2. Diagrama de flujo cualitativo de la obtención de harina de papa Amarilla Tumbay .....	25
Figura 3. Diseño experimental de variables independientes y dependientes .....	30
Figura 4. Diseño experimental de proceso.....	31
Figura 5. Diagrama de Pareto para capacidad de retención de agua.....	37
Figura 6. Gráfica de medias para capacidad de retención de agua.....	37
Figura 7. Gráfica de interacción para capacidad de retención de agua.....	38
Figura 8. Diagrama de Pareto para porcentaje de solubilidad.....	40
Figura 9. Gráfica de medias para porcentaje de solubilidad.....	41
Figura 10. Gráfica de interacción para porcentaje de solubilidad .....	42
Figura 11. Diagrama de Pareto para poder de hinchamiento.....	44
Figura 12. Gráfica de medias para poder de hinchamiento.....	44
Figura 13. Gráfica de interacción para poder de hinchamiento. ....	45
Figura 14. Diagrama de Pareto para la coordenada L* del color.....	47
Figura 15. Gráfica de medias para la coordenada L* del color.....	48
Figura 16. Gráfica de interacción para la coordenada L* del color. ....	48
Figura 17. Diagrama de Pareto para la coordenada cromática a* del color.....	50
Figura 18. Gráfica de medias para la coordenada cromática a* del color .....	50
Figura 19. Gráfica de interacción para la coordenada cromática a* del color...	51
Figura 20. Diagrama de Pareto para la coordenada cromática b* del color.....	52
Figura 21. Gráfica de medias para la coordenada cromática b* del color.....	53
Figura 22. Gráfica de interacción para la coordenada b* del color. ....	54
Figura 23. Diagrama de Pareto para la coordenada cromática b* del color.....	56
Figura 24. Gráfica de medias para la variación total del color .....	56
Figura 25. Gráfica de interacción para la variación total del color .....	57

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Constancia de traducción del resumen a la lengua quechua.....	69
ANEXO B. Memoria de cálculo.....	70
ANEXO B.1. Cálculo de la diferencia de las coordenadas $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ( $\Delta L^*$ , $\Delta a^*$ y $\Delta b^*$ ).....	70
ANEXO B.2. Cálculo de la variación total del color ( $\Delta E^*$ ).....	70
ANEXO B.3. Cálculo de solución desinfectante.....	71
ANEXO C. Resultados de la capacidad de retención de agua, porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento.....	72
ANEXO D. Resultados de las coordenadas $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ y variación total del color.....	73
ANEXO E. Resultados del análisis de varianza (ANVA) para las propiedades funcionales.....	74
ANEXO E.1. Análisis de varianza (ANVA) para capacidad de retención de agua.....	74
ANEXO E.2. Análisis de varianza (ANVA) para porcentaje de solubilidad.....	74
ANEXO E.3. Análisis de varianza (ANVA) para poder de hinchamiento.....	74
ANEXO F. Resultados del análisis de varianza (ANVA) para las coordenadas cromáticas y la variación del color.....	75
ANEXO F.1. Análisis de varianza (ANVA) para $L^*$ .....	75
ANEXO F.2. Análisis de varianza (ANVA) para $a^*$ .....	75
ANEXO F.3. Análisis de varianza (ANVA) para $b^*$ .....	75
ANEXO F.4. Análisis de varianza (ANVA) para la variación total del color.....	76
ANEXO G. Fotografías del desarrollo experimental.....	76
ANEXO H. Fotografías de la determinación de las propiedades funcionales y el color.....	81
ANEXO I. Matriz de consistencia.....	82

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

<b>CRA</b>	: Capacidad de retención de agua
<b>PH</b>	: Poder de hinchamiento
<b>S</b>	: Solubilidad
<b>ANVA</b>	: Análisis de varianza
<b>msnm</b>	: Metros sobre nivel del mar
<b>T°</b>	: Temperatura
<b>ml</b>	: Mililitros
<b>mm</b>	: Milímetros
<b>μ</b>	: Micra
<b>m</b>	: Metro
<b>s</b>	: Segundos
<b>l</b>	: Litros
<b>V</b>	: Volumen
<b>°C</b>	: Grados Celsius
<b>kg</b>	: Kilogramo
<b>g</b>	: Gramo
<b>t</b>	: Tiempo
<b>%</b>	: Porcentaje
<b>rpm</b>	: Revoluciones por minuto
<b>ppm</b>	: Partes por millón
<b>NaClO</b>	: Hipoclorito de sodio
<b>L*</b>	: Luminosidad
<b>a*</b>	: Cromaticidad rojo/verde
<b>b*</b>	: Cromaticidad amarillo/azul
<b>ΔE</b>	: Variación total del color
$\bar{x}$	: Media muestral
<b>S</b>	: Desviación estándar
<b>C.V.</b>	: Coeficiente de variabilidad porcentual

## RESUMEN

La harina de papa es un producto obtenido de las hojuelas de la misma mediante una operación de molienda; y con la finalidad de destinar a la industria alimentaria como sustitutos parciales de otras harinas o a la elaboración del puré. La presente investigación se realizó con la finalidad de determinar el efecto de la temperatura (50, 60 y 70 °C) y velocidad de aire (1, 2 y 3 m/s) de secado por convección en las propiedades funcionales y el color de la harina de papa Amarilla Tumbay (*Solanum goniocalyx*). Las propiedades funcionales de la harina fueron determinadas sometiendo las muestras a una fuerza centrífuga; mientras el color se determinó con el colorímetro Konica Minolta CR - 400 en espacio L\* a\* b\*. En el análisis estadístico se aplicó un diseño factorial 3<sup>2</sup>; donde se realizó un Análisis de Varianza (ANVA), seguida de una comparación múltiple utilizando el Test de Fisher. Para estos análisis se empleó el paquete estadístico Statgraphics Centurión XVI y Excel 2013 (Software libre).

Se observó que existe efecto significativo de la temperatura de secado en la capacidad de retención de agua, porcentaje de solubilidad, poder de hinchamiento, coordenada L\* a\* b\* y variación total del color; mientras la velocidad de aire de secado sólo tuvo efecto en el porcentaje de solubilidad, coordenada L\*, b\* y variación total del color. El incremento de la temperatura de secado disminuyó la capacidad de retención de agua y poder de hinchamiento, siendo el mejor tratamiento T1 (50 °C y 1 m/s) con 9.46 ml H<sub>2</sub>O/g muestra y T2 (50 °C y 2 m/s) con 11.52 g gel/g muestra, respectivamente; mientras el porcentaje de solubilidad incrementó con el incremento de la temperatura y velocidad de aire, registrándose la mayor solubilidad (20.85%) con el tratamiento T9 (70 °C y 3 m/s). Con respecto al color, el incremento de la temperatura y velocidad de aire provocó la disminución de la coordenada L\*, b\* y el incremento de la variación total del color; donde la menor variación se obtuvo con el tratamiento T1 (50 °C y 1 m/s) un 71.48, 71.12 y 10.63, respectivamente; la coordenada a\* mostró una disminución con el incremento de la temperatura, siendo el tratamiento T2 (50 °C y 2 m/s) con la menor variación (6.96).

**Palabras clave:** Temperatura, velocidad de aire, propiedades funcionales y color

## ABSTRACT

Potato flour is a product obtained from the flakes of the same through a milling operation; and with the purpose of allocating to the food industry as partial substitutes for other flours or for the preparation of mash. This research was carried out in order to determine the effect of temperature (50, 60 and 70 °C) and air speed (1, 2 and 3 m/s) of convection drying on the functional properties and color of Yellow potato Tumbay flour (*Solanum goniocalyx*). The functional properties of the flour were determined by subjecting the samples to a centrifugal force; while the color was determined with the Konica Minolta CR-400 colorimeter in space  $L^* a^* b^*$ . In the statistical analysis a factorial design  $3^2$  was applied; where a Variance Analysis (ANOVA) was performed, followed by a multiple comparison using the Fisher Test. For these analyzes the statistical package Statgraphics Centurion XVI and Excel 2013 (Free software) was used.

It was observed that there is a significant effect of drying temperature on water retention capacity, solubility percentage, swelling power,  $L^* a^* b^*$  coordinate and total color variation; while the drying air speed only had an effect on the percentage of solubility, coordinate  $L^*$ ,  $b^*$  and total color variation. The increase in the drying temperature decreased the water retention capacity and swelling power, the best treatment being T1 (50 °C and 1 m/s) with 9.46 ml H<sub>2</sub>O/g sample and T2 (50 °C and 2 m/s) with 11.52 g gel/g sample, respectively; while the percentage of solubility increased with the increase in temperature and air speed, registering the highest solubility (20.85%) with the T9 treatment (70 °C and 3 m/s). With respect to color, the increase in temperature and air speed caused the decrease in the  $L^*$ ,  $b^*$  coordinate and the increase in the total color variation; where the lowest variation was obtained with treatment T1 (50 °C and 1 m/s) a 71.48, 71.12 and 10.63, respectively; the  $a^*$  coordinate showed a decrease with the increase in temperature, the T2 treatment (50 °C and 2 m/s) with the smallest variation (6.96).

**Keywords:** Temperature, air speed, functional properties and color

## CHUMASQA

Alli allin kutasqa papamanta akuqa, chaymi kay mikuyqa wakin kawsaykunamanta akukunatapas llallirin. Kay musuq yachaypa hatun qatipayninga qawarichiwanchik imaynatan chakichisway chay Tumbay Qillu papapa akunta (*Solanum goniocalyx*), kay yupay kama (50,60 y 70 °C) rupay chayaqtin, hinallataq kay yupaykama (1, 2 y 3 m/s) utqayma wayra puririspas chayaqtin. Tumbay Qillu papamanta akuruwasqapiqa, tukuy imaymana kaysayninkunatatataq allinta taqwarimuspan puririchimuyku riqsisqa kananpaq; chay llimpitataq kawsachimuyku kay colorímetro Konica Minolta CR - 400 nisqanwan, kaynata  $L^* a^* b^*$  rakirispas. Tukuy imaymanan yupaynin puririchinampaqtaq kay kimsa chunka iskayniyuq diseño factorial nisqanman churayku; chaypin kay Análisis de Varianza (ANVA) nisqanta ruwakamun, hinallataq atipanakuy kuti kutirispas qatipan kay test de Fisher nisqanwan. Kay yupaykuna qispichinapaq, chay Statgraphics Centurión XVI hinallataq Excel 2013 (Software libre) nisqankunawan ruwayku.

Kay musuq yachaypa hatuh qatipayninga, tumbay qillu papamanta aku ruwasqamantaqa qawarichiwanchik allin luqsimusqanta, quñi quñipi chakimusqanta, yakuntapas takyachisqanta, aku punkirimusqanta, coordenada  $L^* a^* b^*$  nisqanwan, llimpinpas mana takyasqanta; hinaqa, chay utqayman wayra purisqanwan chakichisqaqa, aschallapin chapurikusqa, kay coordenada  $L^*, b^*$  nisqampas chayna rikurimun, llimpinpas lluytan chinkasqa. Rupayta yapaykuqtiykiqa aku chakichiyqa pisinmi, yakunpas chinkan, manan punkirimpaschu; chaymi qawachikamun allin ruwayninta kay T1 (50 °C y 1 m/s) nisqanwan, kaywan huntayuspa 9.46 ml H<sub>2</sub>O/g, tupuntaq T2 (50 °C y 2 m/s) nisqanwan, kaymantaq kay 11.52 g gel/g nisqanwan yapayusqa; aswantaq chapukuyninqa yaparukun kay (20.85%) hinakama, chay T9 (70 °C y 3 m/s) quñi ruwaywan, hinallataq utqaymay wayra puriqmanwan. Chay tumbay qillu papamanta akuta, quñi quñi ukupi chakichisqaqa, utqaynin waira puriqniywan, akupa qillukayninqa coordenada  $L^*, b^*$  chinkarunmi, aswan tukuy llimpiman tukuramun. Tukunapaq niyamusqaq: chaymi chay llimpin chikallan chinkanampaq kay T1 (50 °C y 1 m/s) hinallataq 71.48, 71.12 y 10.63 yupaykunawan urquyku; chay coordenada  $a^*$  nisqanpas chikallanmi pisin, quñiqta yapaqtiykuqa T2 (50 °C y 2 m/s), kayna ypayllamanmi (6.96) ayparun.

**Simi llalliқkuna:** quñi chiri qawaynin, utqayma wayrapa puririyin, tukuy imaymanan kawsaynin, llimpin.

## INTRODUCCIÓN

A la actualidad se han desarrollado derivados de la papa, y una de ellas es la harina, que es un producto transformado mediante una operación de secado y molienda, para luego ser destinadas a la industria alimentaria como sustitutos parciales de otras harinas o en la elaboración de puré; donde se requiere tener conocimiento sobre sus propiedades funcionales; y estas son aquellas que tienen la capacidad de repercutir en las características de un producto, contribuyendo en su calidad final (Badui, 1990); y dentro de estas propiedades encontramos a aquellas que están relacionadas con el agua, como la capacidad de retención de agua, porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento; su importancia radica en que estas son las que determinan su utilidad en las aplicaciones alimentarias, proporcionando una información sobre cómo un componente en particular (proteína y carbohidrato) podría actuar en una matriz alimentaria. Se ha demostrado que las condiciones de secado influyen en las propiedades funcionales de la harina; donde las altas temperaturas de secado provocan la alteración de las mismas (Leach, McCowen y Schoch, 2008).

En la industria de los alimentos, el color es una cualidad organoléptica y es considerado como el atributo más importante de la calidad. Los alimentos, tanto en su forma natural o transformada, presentan un color característico mediante el cual los consumidores los identifica. Además, puede proporcionar información sobre su identidad (intensidad del sabor) (Rettig y Hen, 2014). Durante el procesamiento de la harina de papa ocurren cambios físicos de la misma (cambios notables de color), debido a las condiciones de secado (temperatura y velocidad de aire).

La papa se encuentra entre los cultivos más importantes a nivel mundial, ya que ocupa el cuarto lugar entre los cultivos alimenticios después del arroz, el maíz y el trigo. Y Perú es uno de los países que se consolidó como el principal productor y de mayor diversidad de las papas a nivel mundial, ya que cuenta con 8 especies nativas domesticadas y más de 3000 variedades en total. Dentro de las especies cultivadas, la *Solanum goniocalyx* presenta una diversidad de variedades nativas, siendo una de ellas, la papa Amarilla Tumbay (Centro Internacional de la Papa [CIP], 2006). Esta variedad se caracteriza por el color amarillo intenso de su pulpa, por su alto contenido de carotenoides totales, por su proteína y su equilibrada

concentración de aminoácidos. Su proteína es comparada con la proteína del huevo, soya y frijoles (Quispe, Betalleluz, Vargas y Velezmoro, 2018).

La mayoría de las investigaciones se han centrado en desarrollar nuevos productos y en determinar las propiedades funcionales de la harina; dejando de lado la importancia de estudiar el efecto de las condiciones de secado, que en realidad son las principales responsables del cambio de sus propiedades funcionales y el color. Con esta investigación se aporta un método más eficiente para la producción de la harina de papa con mejores propiedades funcionales y color.

En base a lo expuesto, se planteó como objetivo general lo siguiente:

Determinar el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en las propiedades funcionales y el color de la harina de papa Amarilla Tumbay;

Y como objetivos específicos lo siguiente:

Determinar el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en las propiedades funcionales (capacidad de retención de agua, porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento) de la harina de papa Amarilla Tumbay

Determinar el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en el color de la harina de papa Amarilla Tumbay.

## CAPÍTULO 1: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Andahuaylas es una de las provincias de la región de Apurímac que es catalogada como una de las provincias que cuenta con las condiciones agroecológicas favorables para la producción de tubérculos como la papa; sin embargo, la comercialización de este sigue siendo de forma tradicional y poco industrializado. Las nuevas tendencias del mercado exigen productos industrializados de calidad que garanticen su rápida preparación.

A partir del tubérculo de la papa se puede obtener derivados como: harina de papa, papas frescas embolsadas, hojuelas o chips, papas frescas en tiras, almidón de papa y papas precocidas y/o congeladas; siendo la harina como el principal derivado, la misma que puede ser consumida de forma directa (puré), y también se puede destinar a otras industrias alimentarias como sustitutos parciales de otros productos (Sablani y Mujumdar, 2006).

La obtención de la harina de papa implica una serie de operaciones, y que de estas depende su calidad final. Una de las principales operaciones que causa problemas en la calidad del producto (en las propiedades funcionales y el color), es la operación de secado; donde se manipulan variables como la temperatura y velocidad de aire. Una inadecuada aplicación de estas variables podría provocar cambios severos indeseables en el producto final. En la presente investigación se utilizaron tres niveles de temperatura y velocidad de aire a fin de observar a detalle el comportamiento de la variación de las propiedades funciones y el color de la harina de papa Amarilla Tumbay; y ante ello se planteó los siguientes interrogantes: ¿Cuál es el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en las propiedades (capacidad de retención de agua, porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento) de la harina de papa Amarilla Tumbay? y ¿Cuál es el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en el color de la harina de papa Amarilla Tumbay?.

## CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

### INTERNACIONAL

Alonso, García, González y Benavente (2014), determinaron las propiedades funcionales (porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento) de la harina de papa variedad Granola, procesada a 60 °C de temperatura de secado, previamente escaldada en agua a 90 °C. Los resultados que reportaron fue 21.84% de solubilidad y 17.04 g gel/g muestra de poder de hinchamiento; e indicaron que su alto poder de hinchamiento se debe a que posee almidón rico en amilosa. Los tubérculos con alto contenido de almidón tienen la capacidad de interactuar con el agua sin la necesidad de aplicar calor, gracias a su alto contenido de los grupos fosfato en la amilopectina.

Olatunde, Henshaw, Idowu y Tomlins (2016), estudiaron las propiedades funcionales (porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento) de la harina de camote; donde, el proceso de secado lo realizaron a 50 °C de temperatura, con láminas de la misma de 2 mm de espesor, previamente escaldada. Para la reducción del tamaño utilizaron un molino de laboratorio (Perten 3600). El porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento que determinaron fue, 16.18% y 3.34 g gel/g muestra, respectivamente. Asimismo, determinaron el color en coordenadas L\*, a\* y b\*, donde  $L^* = 91.66 \pm 5.37$ ,  $a^* = 0.73 \pm 0.88$  y  $b^* = 15.85 \pm 3.69$ . Finalmente indicaron que las condiciones de secado influyeron de manera negativa en la calidad de la harina.

Kusumayanti, Handayani y Santosa (2015), determinaron el porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento de la harina de yuca y camote. El proceso de secado lo realizaron a 45 °C de temperatura, y con muestras de 1 mm de espesor. Los resultados que reportaron fue 3.57, 3.67 y 13.80 g gel/g muestra y 9.56, 3.67 y 8.61% de poder de hinchamiento y porcentaje de solubilidad, para harina de camote de pulpa amarilla, pulpa morada y harina de yuca, respectivamente. Así mismo, indicaron que las diferencias en el poder de hinchamiento de las harinas se atribuyen al grado de asociación intermolecular y a su contenido de amilosa; y las diferencias en el porcentaje de solubilidad se atribuyen a las fuerzas interasociativas dentro de los dominios amorfos y cristalinos, y la presencia de otros componentes (fósforo).

Rojas y Duran (2011), estudiaron la variación del color de la harina de papa criolla (*Solanum phureja*), procesada mediante la aplicación de una corriente de aire caliente (secado por convección) a 105 °C de temperatura y 4 m/s de velocidad de aire. Para el proceso de secado utilizaron láminas de papa entre uno y dos milímetros de espesor. La determinación del color, tanto de la muestra fresca y secada, lo realizaron haciendo uso de un espectrofotocolorímetro de esfera; el color se midió bajo el sistema CIE  $L^*a^*b^*$ . Los resultados que obtuvieron en la muestra fresca fue,  $L^*=70$ ,  $a^* = 6.9$  y  $b^* = 45$ ; y en la muestra deshidratada  $L^*= 58$ ,  $a^* = 2.1$  y  $b^* = 55$ . Concluyeron que existe una amplia diferencia significativa entre el color de la papa criolla en fresco y deshidratado; ya que la degradación del color se dio en gran proporción.

Dangpium, Ruttarattanamongko, Chittrakorn y Weerawatanakorn (2015), estudiaron el efecto de las condiciones de secado en el color de la harina de camote de pulpa naranja y morada. Para el proceso de secado utilizaron láminas de camote de 2 mm de espesor previamente escaldadas a 100 °C; y la temperatura de secado fue 70 °C. Los resultados que reportaron en muestra fresca (pulpa naranja) fue, luminosidad  $L^*= 74.21$ , coordenada rojo/verde  $a^* = 27.94$  y coordenada azul/amarillo  $b^* = 44.72$ ; y en la muestra deshidratada la luminosidad fue  $L^*= 80.88$ , coordenada rojo/verde  $a^* = 10.54$  y la coordenada azul/amarillo  $b^* = 28.11$ . Finalmente indicaron que la temperatura de secado es el principal responsable del cambio de color que sufre el producto.

## **NACIONAL**

Ysla (2012), estudió el efecto de la temperatura de secado (50, 60 y 70 °C) en la capacidad de retención de agua de harina de mashua (*Trupaeolum tuberosum*); donde, para la reducción del tamaño utilizó un molino manual. La capacidad de retención de agua determinó mediante un cálculo indirecto, para ello sometió las muestras a una fuerza centrífuga de 3000 rpp durante 30 minutos. El resultado que obtuvo fue 5.48, 4.64 y 3.35 g H<sub>2</sub>O/g muestra en la harina obtenida a 50, 60 y 70 °C de temperatura de secado, respectivamente. Concluyó que la capacidad de retención de agua disminuye progresivamente con el incremento de la temperatura de secado.

Enríquez y Mejía (2012), determinaron el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado en la capacidad de retención de agua de la harina de oca (*Oxalis*

*tuberosa*). Los resultados exhibieron un mínimo de 7.87 ml H<sub>2</sub>O/g muestra en la harina obtenida a 80 °C de temperatura y 4.5 m/s de velocidad de aire, y un máximo de 10.92 ml H<sub>2</sub>O/g muestra en la harina obtenida a 70 °C de temperatura y 3.4 m/s de velocidad de aire. Además indicaron que a altas temperaturas y velocidades de aire, la capacidad de retención de agua tiende a disminuir de manera progresiva. Dicho comportamiento se atribuye, a que a severas condiciones de secado las muestras sufren una contracción en mayor proporción; y a consecuencia de ello las muestras tienen la incapacidad de absorber agua con mayor facilidad.

## CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

### 3.1 Generalidades de la papa

La papa es el cultivo de importancia mundial, ya que ocupa el cuarto lugar entre los cultivos alimenticios después del arroz, el maíz y el trigo (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2011). Este producto es nutritiva y relativamente baja en calorías, prácticamente libre de grasas y colesterol, alta en potasio y vitamina C, la cual tiene una capacidad de combate de resfríos y gripes; además, es una rica fuente de carbohidratos, por ende es una buena fuente de energía. Los carbohidratos son necesarios para prevenir la fatiga y desbalances nutricionales, siendo la papa una fuente de carbohidratos que contiene menos calorías y grasas que otras fuentes de estos compuestos (Muñoz, 2014).

#### 3.1.1 Clasificación taxonómica de la papa

La papa pertenece a la siguiente clasificación taxonómica según, Terranova (1995):

<b>Reino</b>	: <i>Plantae</i>
<b>División</b>	: <i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase</b>	: <i>Magnoliopsida</i>
<b>Sub clase</b>	: <i>Asteridae</i>
<b>Orden</b>	: <i>Solanales</i>
<b>Familia</b>	: <i>Solanaceae</i>
<b>Género</b>	: <i>Solanum L.</i>
<b>Especie:</b>	<i>Solanum tuberosum</i>

#### 3.1.2 Morfología de la papa

La papa es un miembro de la familia de las solanáceas, y es un dicotiledóneo herbáceo anual en lo que respecta a sus hábitos vegetativos y de floración, pero puede considerarse como una planta perenne en cuanto a su capacidad de reproducción por medio de los tubérculos. Por lo tanto, generalmente se propaga asexualmente. En el momento de la floración, la formación de los tubérculos generalmente se inicia e implica el agrandamiento de la punta del rizoma. Los rizomas surgen de la porción subterránea del tallo. Muchos factores pueden afectar la formación y el número de tubérculos, como la temperatura, el suministro de humedad, la duración del período de luz y la formación de carbohidratos

(Gould, 1999). Sus tallos son de 80 a 90 cm de altura, sus hojas divididas en segmentos desiguales, sus flores son de hojas divididas en segmentos desiguales y de diversos colores: blancas, moradas y amarillas. El fruto es una baya redonda de coloración variada de acuerdo a la variedad y de tamaño de una cereza con cáliz agrandado. Los tallos se ramifican en la base y forman los conocidos tubérculos que pueden ser: ovoides, redondeados o alargados y aplanados (Christiansen, 1989).

### **3.1.3 Papa Amarilla Tumbay**

La papa Amarilla Tumbay es un tubérculo perteneciente a la especie *Solanum goniocalyx*, y se caracteriza por presentar una pulpa amarilla intensa, alto contenido de carotenoides, por su alto valor biológico de su proteína en comparación con el de huevo entero, soya y frijoles y por su equilibrada concentración de aminoácidos (Quispe et al. 2018).

### **3.1.4 Variedad de papa**

La biodiversidad de la papa es amplio. En el banco de germoplasma del Centro Internacional de la Papa, se han registrado más de 4 000 variedades de papa cultivada de todo el mundo, de las cuales, aproximadamente 3 000 han sido recolectadas en el Perú. Se estima que esta cantidad representa solo una parte de la diversidad actual de especies y variedades de papa nativa que las familias manejan in situ en las comunidades alto andinas con potencial producción de papa (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], MINAGRI y CIP, 2017).

### **3.1.5 Composición química de la papa**

La composición y la cantidad de nutrientes de la papa dependen de la temperatura y la humedad de las condiciones de crecimiento, tipo de suelo, nutrientes almacenados en el suelo, y la composición genética del cultivo o variedad (Gould, 1999, p. 9). Los tubérculos de papa están compuestos aproximadamente de lo siguiente (Tabla 1):

**Tabla 1.** Composición química de la papa

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>
Agua	76%
Carbohidrato	17%
Proteína	2%
Azúcares reductores	0.3%
Ceniza	1.1%
Vitamina C	25 mg/100

Fuente: Sablani y Mujumdar (2006)

El 80% en peso de carbohidratos de papa es almidón, y ello está compuesto de un aproximado de 75 - 95% y 21 - 25% de amilopectina y amilosa, respectivamente; y la proteína de la papa está compuesto de todos los aminoácidos esenciales. La amplia gama de nutrientes hace referencia a que muchos factores pueden afectar la composición y, además, explican por qué los tubérculos difieren ampliamente. Sin lugar a dudas, la variedad o cultivar es la causa número uno de la diferencia de composición (Gould, 1999).

### **3.2 Harina de papa**

La harina de papa se encuentra dentro de la definición de “Harinas Sucedáneas Procedentes de Tubérculos y Raíces” que define a los productos provenientes de tubérculos y raíces, obtenidos mediante un proceso adecuado de secado y molienda (ITINTEC, 1976 citado por Cárdenas, 2012, p. 26).

“Es el producto que se obtiene de las hojuelas o pasta de papa con un proceso de molienda y pulverización, seguido del cernido para separar la fibra de la harina” (Codex 2007).

#### **2.2.1. Calidad de la harina de tubérculos**

La harina de tubérculos debe presentar las siguientes características, según (Codex, 2007).

- ✓ Debe ser inocua y apropiada para el consumo humano.
- ✓ Debe estar exenta de sabores y olores extraños.

- ✓ Debe estar exenta de suciedad (impurezas de origen animal, incluidos insectos muertos) en cantidades que puedan representar un peligro para la salud humana.
- ✓ Contenido de humedad 13% máximo

### **3.3 Teoría de secado**

En el proceso de secado, la eliminación del agua del alimento se logra de forma mayoritaria a través de una corriente de aire seco, que elimina el agua de la superficie del producto hacia el seno de la corriente de aire. Dicho proceso no sólo disminuye su contenido en agua, sino que puede afectar otras características, ya sean físicas o químicas de los mismos, como la destrucción de nutrientes, reacciones enzimáticas y no enzimáticas, entre otras (Ibarz y Barbosa, 2005, p. 583).

El secado “es un método frecuentemente utilizado para reducir la actividad de agua y, consiguientemente, prolongar la vida útil de los alimentos, facilitando la conservación del producto y reduciendo el peso” (Brennan, Butters, Cowel y Lilley, 1998, p. 381).

#### **2.3.1. Secado de los alimentos**

Entre los componentes de los alimentos, destacan los carbohidratos, proteínas, grasas, vitaminas, enzimas y sales inorgánicas, y muchos de ellos están fuertemente hidratados. El agua presente en los productos alimenticios no se encuentra en estado puro, sino que puede estar formando parte de disoluciones de sólidos, de geles y de emulsiones o ligada, de distintas formas, a los constituyentes sólidos. Durante el proceso de secado de un producto, ocurre lo siguiente (Brennan et al., 1998, p. 389):

- ✓ **Movimiento de solutos:** es una característica singular e importante en el secado de los alimentos e indica el movimiento de sólidos solubles durante la desecación. El agua que fluye hacia la superficie del producto durante el secado contiene diversos productos en disolución. El desplazamiento de algunos compuestos solubles se ve dificultado por las paredes celulares, que actúan como membranas semipermeables. A la migración de sólidos en los alimentos, contribuye también la retracción del producto, que crea presiones en

el interior de las piezas. El resultado puede ser el acumulo de componentes solubles en la superficie, al evaporarse el agua (Brennan et al., 1998, p. 389).

- ✓ **Retracción:** Durante el secado de los tejidos vegetales y animales, por cualquier método de secado, con excepción de la liofilización, se produce cierto grado de retracción del producto en las primeras fases del secado, a bajas velocidades, la cuantía de la retracción está simplemente relacionada con la cantidad de agua eliminada. Hacia el final del mismo, la retracción es cada vez menor, de modo que el tamaño y la forma finales del producto se alcanzan antes de terminarse el secado (Brennan et al., 1998, p. 389).

### **2.3.2. Secado de papa**

En la actualidad, el proceso de secado se considera como una de las operaciones unitarias más importantes en la producción comercial de la papa, como: harina de papa, hojuelas, papas deshidratadas en cubitos, y almidón. El proceso de secado en el procesamiento de papa puede ser la operación de etapa final (para harina, rebanadas deshidratadas, cubitos, tiras, almidón, etc.), operación de acompañamiento final (para granulados y productos instantáneos), o la operación de etapa media (para papas fritas y papas fritas frescas como secado previo antes de freír en tecnologías modernas) (Sablani y Mujumdar, 2006).

### **2.3.3. Métodos de secado**

Los métodos empleados en el secado de los alimentos pueden clasificarse de la siguiente manera tal como describe (Brennan et al. 1998, p. 382):

- ✓ Secado por aire caliente (convección): El alimento se pone en contacto con una corriente de aire caliente. El calor se aporta al producto principalmente por convección.
- ✓ Secado por contacto directo con una superficie caliente: El calor se aporta al producto principalmente por conducción.
- ✓ Secado mediante el aporte de energía por una fuente radiante de microondas o dieléctrica.
- ✓ Liofilización: El agua de los alimentos se congela y se sublima, generalmente aportando calor a una presión muy baja.

#### **2.3.4. Secado por convección**

Durante los procesos de secado por método de convección ocurre un transporte simultáneo de calor y materia. El calor se transfiere al alimento mediante una corriente de aire caliente que además de transmitir el calor necesario para la evaporación del agua, también actúa como agente transportador del vapor de agua que se elimina del alimento (Fito, Andrés, Barat y Abors 2001, p.12). Al someter el producto al calor, por convección, el calor penetra hacia el interior del alimento a través de la superficie, mientras que la humedad sale a través de ella, por lo que el gradiente de temperatura es contrario al gradiente de humedad. En consecuencia, únicamente se produce el secado o la reducción del contenido de agua cuando el interior del producto ha alcanzado suficiente temperatura para que nuevamente emigre la humedad hacia la superficie y, finalmente, al exterior (Astigarraga-Urquiza y Astigarraga-Aguirre, 1995; citado por Contreras, 2003).

#### **2.3.5. Parámetros de secado**

##### **a) Velocidad del aire**

El aire en movimiento elimina vapor de agua de la superficie del alimento, previniendo la creación de una atmósfera saturada. La velocidad del aire actúa aumentando los coeficientes globales de transmisión de calor y de masa, disminuyendo el tiempo de secado (Xue, 2004).

##### **b) Temperatura del aire**

La temperatura del aire desempeña un papel importante en los procesos de secado. En forma general, el incremento de su valor acelera la eliminación de agua dentro de los límites posibles. En los procesos de secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo teniendo en cuenta el producto que se va a someter al proceso (Díaz, 2009).

##### **c) Humedad**

En general la humedad es la cantidad de agua que tiene los materiales o sustancias; y se puede establecer que la masa total ( $m_h$ ) del material es igual a la suma de su masa seca ( $m_s$ ) y de su masa de agua ( $m_{H_2O}$ ). Se calcula mediante la ecuación 01 (Martines y Lira, 2010).

$$m_h = m_s + m_{H_2O} \quad (1)$$

### **2.3.6. Transferencia de calor y masa**

La transferencia de calor, es la transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Cuanto más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo del fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia. La convección recibe el nombre de convección forzada cuando el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido (Cengel y Ghajar, 2011, pp. 25-26).

La transferencia de masa ocurre, cuando una cantidad importante de agua se elimina de los alimentos mediante su difusión, en fase líquida y/o vapor, a través de su estructura interior. Al movimiento del agua líquida le seguirá su evaporación en algún punto en el interior del alimento. Así, el flujo de agua es una función del gradiente de la presión de vapor, de la difusividad del vapor en el aire, de la distancia a recorrer y de la temperatura. La eliminación de la humedad del producto depende, en parte, de la transferencia de materia por convección hacia la superficie del producto (Singh y Heldman, 2001).

### **2.3.7. Calidad de productos secos**

La papa es sensible al calor y al estrés mecánico; por lo tanto, las condiciones de secado conllevan a la pérdidas en la calidad (color, estructura, forma, etc.), así como en el contenido de nutrientes (valor nutritivo, vitaminas, daños a las proteínas, etc.). La calidad de las papas secas no solo se ve afectada por los métodos y condiciones de secado, sino también por los otros procedimientos durante el procesamiento, como: el pelado, escaldado, etc. Las pérdidas en la calidad de los productos de papa sometida a un proceso de secado pueden minimizarse con el pretratamiento (agregando algunos químicos) antes del secado y optimizando las condiciones de secado (Sablani y Mujumdar, 2006).

### 3.4 Propiedades funcionales

La calidad de los alimentos posee dos componentes fundamentales: uno relacionado a los aspectos tecnológicos y otro relacionado a la seguridad y la aceptación por parte del consumidor. En referencia a ello, aparece el concepto de “funcionalidad”. En la actualidad se hace uso ampliamente del concepto de propiedades funcionales de un determinado componente de los alimentos. Dicho concepto está relacionada con el conocimiento de las propiedades tecnológicas (propiedades tecnofuncionales) de dicho componente, en particular, con aquellas relacionadas con los caracteres organolépticos de los productos que lo contienen y como consecuencia de su interacción con otros componentes de los mismos (Boatella, Codony y López, 2004, p.14).

“Las propiedades funcionales hacen referencia a cualquier propiedad fisicoquímica de los polímeros que afecta y modifica algunas características de un alimento y que contribuye a la calidad final del producto” (Badui, 1990, p. 180).

La hidratación es una propiedad funcional que depende además de factores intrínsecos propios de la molécula como la hidrofobicidad, de factores extrínsecos del medio que las rodea como la temperatura (Badui, 1990, p. 180). Los componentes que poseen una mayor implicación son, evidentemente, las macromoléculas (hidratos de carbono y proteínas) como consecuencia de diferentes tipos de interacción: con las moléculas de agua, de la interacción entre ellas (Boatella et al., 2004). Estas propiedades proporcionan información sobre cómo un componente, en particular la proteína y carbohidrato podría comportarse en una matriz alimentaria; dichas propiedades se establecen por la composición y estructura molecular de los componentes individuales y de las interacciones que se establecen entre ellos (Aguilera, 2009).

Entre las propiedades funcionales destacan aquéllas que están relacionadas con el agua, ya que desarrollan un papel importante en los principales cambios que se produce durante el procesado de alimentos; en consecuencia, se puede expresar que las propiedades de hidratación, influyen directamente en las características que conforman la matriz de un alimento (McWatters, 1983).

#### **2.4.1 La capacidad de retención de agua**

Es la habilidad y/o eficacia de las macromoléculas para retener agua cuando estas han sido sometidas a fuerzas externas (fuerzas centrífugas o de compresión); por tanto, es el agua atrapada físicamente. Los carbohidratos y las proteínas son los principales responsables de los incrementos o reducciones que experimenta la capacidad retención de agua en alimentos; y esta, está asociada con la calidad de los alimentos (Hulton y Campbell, 1981).

En la industria de los alimentos, la importancia de la determinación de la capacidad de retención de agua radica en que las informaciones obtenidas son utilizadas principalmente para evaluar el envejecimiento de los productos de panadería; ya que permiten estimar la cantidad de agua ligada que el producto puede mantener, haciéndolo viable por más tiempo sin perder sus características originales (Pinho, Machado y Furlong, 2001).

#### **2.4.2 Poder de hinchamiento y solubilidad**

El poder de hinchamiento es la cantidad de agua que la harina puede absorber por gramo de harina a una temperatura determinada. A temperatura de ambiente, los gránulos de harina pueden absorber hasta un 30 por ciento de su peso en exceso de agua sin hinchazón notable. Sin embargo, durante el calentamiento, los gránulos de harina absorben mucha más agua y se hinchan. Cuando la harina se calienta en exceso de agua la estructura cristalina se altera debido a la rotura de enlaces de hidrógeno, y las moléculas de agua se vinculan por enlaces de hidrógeno a los grupos hidroxilo expuestas de amilosa y amilopectina. Esto provoca un aumento en el hinchamiento de los gránulos y la solubilidad (Hoover y Ratnayake, 2001).

La solubilidad es un parámetro que muestra la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas que la conforman (Sandoval, Fernández, Acalá y Ospina, 2012). Según, Njintang y Mbofung (2006), la solubilidad en agua de las harinas refleja el grado de degradación de su componente (almidón) y mide la cantidad de solubles liberados de los gránulos de almidón después del tratamiento térmico.

## **2.5 Color**

El color se puede medir físicamente en términos de su energía radiante o intensidad, y por su longitud de onda. El ojo humano sólo puede percibirlo cuando su energía corresponde a una longitud de onda que oscila entre 380 y 780 nm; a partir de ello, el color se define como la parte de la energía radiante que el humano percibe mediante las sensaciones visuales que se generan por la estimulación de la retina del ojo (Badui, 199, p. 379).

Los objetos absorben y reflejan la luz de forma distinta dependiendo de sus características físicas, tal como la forma o la composición. El color que se percibe de un objeto es el rayo de luz que rechaza. Se capta esos “rebotes” con diferentes longitudes de onda, gracias a la estructura de los ojos. Si los rayos de luz atraviesan al objeto, éste es invisible (Rettig y Hen, 2014).

### **2.5.1 Color en los alimentos**

Los colores de los alimentos se deben a distintos compuestos, principalmente orgánicos, algunos que se producen durante su manejo y procesamiento, y otros que son pigmentos naturales o colorantes sintéticos añadidos. Cuando se someten a tratamientos térmicos, los alimentos desarrollan tonalidades que van desde un ligero amarillo hasta un intenso café. Mediante las reacciones de Maillard y de caramelización; en otras ocasiones, los pigmentos que contienen se alteran y cambian de color (Badui, 1990, p 379).

Según Bello (2000), las causas que definen la coloración de un alimento son los siguientes (p. 179):

- ✓ La presencia de pigmentos o colorantes naturales
- ✓ La formación de pigmentos colorantes como consecuencia de reacciones químicas o enzimáticas
- ✓ La adición intencionada de sustancias químicas colorantes
- ✓ El efecto físico de los sistemas fisicoquímicos presentes en el alimento y relacionado con la dispersión de la luz.

### **2.5.2 Color de papas procesadas**

El color como propiedad óptica es un atributo de calidad muy importante de las papas sometidas a un proceso de secado, y está sujeto a cambios notables

durante el secado. Uno de los problemas de color más graves es el oscurecimiento que se produce en las papas durante el secado. La oxidación enzimática y la reacción no enzimática (Maillard o pardeamiento) son las causas más frecuentes de decoloración (Sablani y Mujumdar, 2006).

### **2.5.3 Colorimetría**

La colorimetría “es un método óptico que se basa en la comparación del color usando el ojo humano como detector” (Olsen, 1986). Estos métodos se basan específicamente en la geometría y distribuciones espectrales de tres elementos: la fuente de luz, la reflectividad de la muestra y la sensibilidad visual del observador (Ogles, 2008).

El método más utilizado en la industria de alimentos para medición de color es el de colorimetría de triestímulos. El colorímetro de triestímulos consiste en luz blanca proveniente de una fuente-patrón de la CIE (Comisión Internacional de Iluminación), que incide sobre la muestra bajo un ángulo de 0° y es reflejada a un ángulo de 45° (reflexión difusa), o viceversa. La luz reflejada pasa a través de filtros, siendo medida por una fotocélula (Ferreira, 1981).

### **2.5.4 Medición del color**

El color es una medida de objeto importante para la comprensión de la imagen y la descripción del objeto, que se utiliza para la evaluación de calidad y la inspección de productos alimenticios. Las mediciones de color se pueden realizar de forma visual, con instrumentos como el colorímetro o visión por computadora (Wu y Sun, 2013). Para fines técnicos se define el color en tres atributos: matiz, croma y brillo, términos incorporados en la ciencia del color por Munsell (Rettig y Hen, 2014).

### **2.5.5 Escalas de medición de color**

#### **a) Sistema Munsell**

Este sistema desarrollado por Albert H. Munsell, cuya primera publicación data de 1905, pone de relieve su afán por establecer una base científica a la especificación de los colores (Rettig y Hen, 2014). Este Sistema se basa en asignar valores numéricos a las tres propiedades del color: matiz, valor y croma. Las muestras de

color adyacentes representan intervalos iguales de la percepción visual (X-Rite, 2002).

Los sistemas de color actuales se basan en instrumentos que utilizan las matemáticas para ayudarnos a evaluar el color. Para ver el color se requieren tres cosas: una fuente de luz (iluminante), un objeto (muestra) y un observador/procesador (X-Rite, 2002).

## **b) Sistemas CIE**

La CIE ha desarrollado los sistemas más importantes y las más utilizadas en la actualidad para la descripción y medición del color, los cuales se basan en la utilización de fuentes de iluminación y observadores estándares (Giese, 1995 citado por Mathias, 2014). Los sistemas CIE usan tres coordenadas para ubicar un color en un espacio de color. Estos espacios de color incluyen CIE XYZ, CIE  $L^*a^*b^*$  y CIE  $L^*C^*h^\circ$  (Rettig y Hen, 2014).

## **c) Valores de cromaticidad**

En las escalas de cromaticidad existe un inconveniente, que los valores de triestímulares tienen un uso limitado como especificaciones de color porque no corresponden de una manera fiel a los atributos visuales. Mientras que Y corresponde a la claridad, X y Z no se correlacionan con matiz (tono) o croma (X-Rite, 2002).

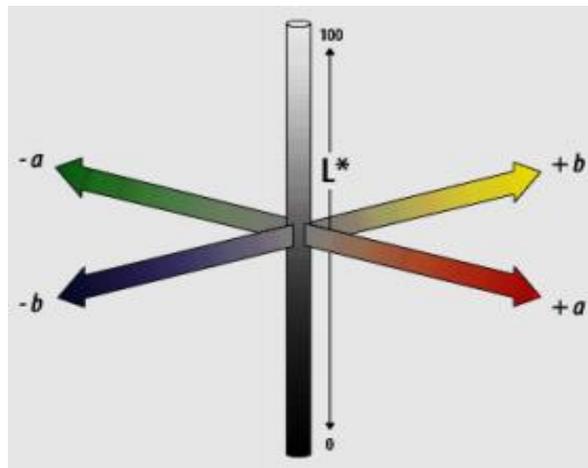
### **2.5.6 Modelo de color CIELAB**

La CIE  $L^*a^*b^*$  es el modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano. Los asteriscos (\*) que siguen a cada letra forman parte del nombre, ya que representan los tres parámetros ( $L^*a^*b^*$ ) del modelo Valero (2012):

- a)  $L^*$ : Luminosidad, expresada como porcentaje (desde el 0, que indica negro, hasta el 100 que indica blanco).
- b)  $a^*$ : posición del color, que va desde verde al rojo (los valores negativos indican verde mientras que los valores positivos indican rojo).
- c)  $b^*$ : posición entre amarillo a azul (valores negativo indican azul y valores positivos indican amarillo).

El espacio de color CIELAB es un sistema de coordenadas cartesianas definido por tres coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , que son magnitudes adimensionales. La coordenada  $L^*$  para estímulos independientes toma siempre el valor 100 y no sirve para su especificación. El conjunto  $a^*$  y  $b^*$  recibe el nombre de cromaticidad. La coordenada  $a^*$  define la desviación hacia el rojo si  $a^* > 0$ , y hacia el verde si  $a^* < 0$ . Análogamente, la coordenada  $b^*$  define la desviación hacia el amarillo si  $b^* > 0$ , y hacia el azul si  $b^* < 0$  (Valero, 2012).

Este modelo ( $L^*a^*b^*$ ) fue desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación en el año 1976 para lograr una mejora en la representación del color, se considera el modelo de color más completo, se usa ampliamente para describir los colores que puede percibir el ojo humano (Noor, Mokhtar, Rafiqul y Pramod, 2012).



**Figura 1.** Modelo de color CIE  $L^*a^*b^*$  Noor et al. (2012)

### 2.5.7 Diferencia o variación de color

El análisis de color es más que una expresión numérica. Normalmente es un análisis de la igualdad o diferencia de un color al compararlo con una norma establecida. CIELAB se emplea para comparar los colores de dos objetos (X-Rite, 2012).

Las expresiones de esta diferencia o variación de color son  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$  o  $DL^*$ ,  $Da^*$  y  $Db^*$  ( $\Delta$  o  $D$  provienen del símbolo "delta", que quiere decir "diferencia"). Dados  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$  la diferencia o variación total en el diagrama CIELAB puede ser expresado como un valor único conocido como  $\Delta E$ , ecuación 2 (X-Rite, 2012).

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (2)$$

## **2.6 Marco conceptual**

### **2.6.1 Temperatura**

Es una propiedad que se percibe como nuestra respuesta fisiológica a lo que es caliente o frío (Singh y Heldman, 2001).

### **2.6.2 Velocidad de aire**

Es la rapidez de transmisión de energía requerida para calentar el agua contenida en el material y transportar la humedad saliente del material hacia el exterior del secador (Díaz, 2009).

### **2.6.3 Secado**

Es la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material en donde el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire (Geankoplis, 1998).

### **2.6.4 Convección**

Es un proceso de transporte de energía que se lleva a cabo como consecuencia del movimiento de un fluido en la vecindad de una superficie (Manrique, 2005).

### **2.6.5 Propiedad funcional**

Es cualquier propiedad fisicoquímica de los polímeros que afecta y modifica algunas características de un alimento y que contribuye a la calidad final del producto (Badui, 1990)

### **2.6.6 Color**

El color es una propiedad de la materia directamente relacionada con el espectro de la luz (Badui, 2006).

### **2.6.7 Papa**

La papa o patata (*Solanum tuberosum*) es una planta de la familia solanáceas y es cultivada por su tubérculo comestible en casi todo el mundo (Alonso et al., 2014).

### **2.6.8 Papa Amarilla Tumbay**

La papa Amarilla Tumbay, es un tubérculo nativo (sin cruces ni cambios genéticos) con pulpa de color amarillo intenso y alto en carotenoides totales (Quispe et al., 2018).

### **2.6.9 Harina de papa**

La harina de papa, es el producto resultante de la molienda de la papa precocida deshidratada (Moreyra y García, 1977).

## **CAPÍTULO 4: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Lugar de ejecución**

La presente investigación fue desarrollada en los laboratorios de Física, Control de Calidad “A” y Química de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas, ubicada en el barrio de Santa Rosa del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas y región Apurímac.

### **3.2. Población y muestra**

#### **3.2.1. Población**

Se consideró como población a la papa Amarilla Tumbay (*Solanum goniocalyx*) cultivadas en la comunidad de Huancabamba, distrito José María Arguedas, provincia de Andahuaylas y región Apurímac.

#### **3.2.2. Muestra**

Para la obtención de la muestra se realizó un muestreo no probabilístico; ya que las muestras se seleccionaron en función al criterio, accesibilidad e intencionalidad del investigador (muestreo por conveniencia). Este muestreo consistió en recolectar 5 kg de papa Amarilla Tumbay, teniendo en consideración las siguientes características: libre de daños mecánicos, coloración amarilla y tamaño uniforme y tubérculos frescos.

Para el proceso de secado se utilizó 50 gramos de láminas de papa Amarilla Tumbay para cada tratamiento y por triplicado.

#### **3.2.3. Unidad de análisis**

Se tomó aleatoriamente 3 unidades de papa Amarilla Tumbay para determinar el color de la misma.

Para determinar las propiedades funcionales y el color de la harina de papa Amarilla Tumbay se tomó 1.5 y 5 gramos, respectivamente, para cada tratamiento y repetición.

### **3.3. Materiales, instrumentos, equipos y reactivos**

### 3.3.1. Materiales

Los materiales utilizados en la presente investigación se listan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Materiales de laboratorio

<b>Materiales de laboratorio</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Marca</b>
02 unid.	Tabla de picar	s/m
02 unid.	Cuchillo de 8" de hoja	Tramontina
01 unid.	Jarra milimetrada de 1 L	Rey plast
01 unid.	Probeta de 10, 50 y 100 ml	Kyntel
10 unid.	Tubos de Centrifuga	Fortuna
01 unid.	Vaso precipitado de 10, 30 y 50 ml	Fortuna
10 unid.	Placas Petri	Fortuna
02 unid.	Gradilla	Kimax
02 unid.	Batea de 11 L	Rey plast
02 unid.	Bagueta	Fortuna
02 unid.	Pipeta graduada de 10 y 50 ml	Fortuna
02 unid.	Balde de 5 L	Rey plast

### 3.3.2. Equipos e instrumentos de laboratorio

Los equipos e instrumentos de laboratorio que se utilizaron en la presente investigación, se listan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Equipos e instrumentos de laboratorio

<b>Equipos e Instrumentos de laboratorio</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Marca</b>
01 unid.	Autoclave de 18 L y 0.165 Mpa	Huatai
01 unid.	Colorímetro CR-400	Konica Minolta
01 unid.	Centrífuga 4000 rpm	lw-scientifique
01 unid.	Agitador magnético 1600 rpm	Ika
01 unid.	Termómetro digital de -50 a 300 °C	TP-101
01 unid.	Anemómetro: máx. 30 m/s, 0.5 m/s	Peak Meter
01 unid.	Secador semi automatizado: máx. 120 °C	s/m
01 unid.	Molino de tradicional (manual)	Corona
01 unid.	Balanza analítica: $\pm 0.01$ g	OHAUS

### 3.3.3. Reactivos

Los reactivos que fueron utilizadas en la presente investigación se listan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Reactivos

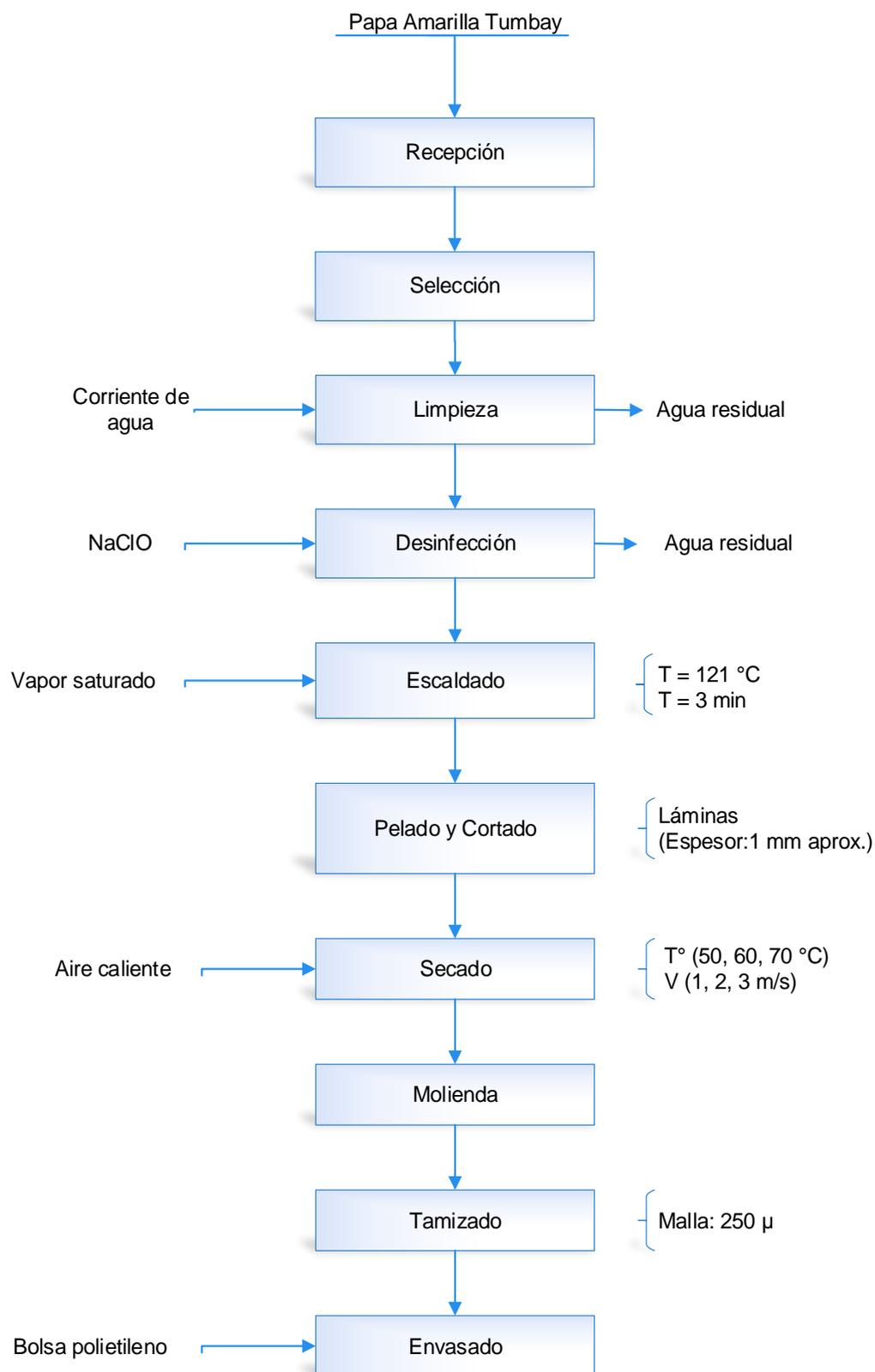
<b>Reactivos</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Marca</b>
324 ml	Hipoclorito de sodio	Clorox
1 L	Agua destilada	s/m

### 3.4. Metodología experimental

#### 3.4.1. Obtención de harina de papa Amarilla Tumbay

El proceso de obtención de la harina de papa se realizó según el método descrito por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA, 2013), con algunas modificaciones; la misma que se muestra en la Figura 2.

Las modificaciones realizadas fueron básicamente en la aplicación del tipo de escaldado y concentración de la solución desinfectante.



**Figura 2.** Diagrama de flujo cualitativo de la obtención de harina de papa Amarilla Tumbay

## **Descripción del proceso de obtención de la harina**

### **✓ Recepción de materia prima**

Los tubérculos de papa Amarilla Tumbay se recepciónó en un saco de polipropileno; un total de 5 kilogramos.

### **✓ Selección**

Se verificó que los tubérculos se encuentren en buen estado de sanidad, es decir, que no tenga daños, enfermedades o deterioros.

### **✓ Limpieza**

El producto fue lavado por inmersión en una corriente de agua para eliminar las impurezas macroscópicas adheridas a la cáscara o piel de la papa.

### **✓ Desinfección**

En esta operación el producto fue sumergido durante 5 minutos en una solución desinfectante para eliminar microorganismos patógenos presentes en la superficie de los tubérculos. Para ello, se diluyó 8.6 ml de hipoclorito de sodio en 10 litros de agua (45 ppm)

### **✓ Escaldado**

Las papas fueron escaldadas con vapor saturado a 121°C en una autoclave por un tiempo de 3 minutos. El escaldado se realizó con la finalidad de inactivar las enzimas responsables de la oxidación, y asimismo, para otorgar el ablandamiento de la pulpa.

### **✓ Pelado y cortado**

Las papas fueron peladas manualmente y luego cortadas en láminas de un milímetro de espesor aproximadamente. Esta operación se realizó con la finalidad de reducir el tamaño y acelerar el proceso de secado.

### **✓ Secado**

Las papas cortadas en láminas fueron secadas a temperaturas de 50, 60 y 70 °C y a velocidades de aire de 1, 2 y 3 m/s por cada repetición. Esta operación se

realizó en un secador con controles de temperatura y velocidad de aire, hasta alcanzar un peso constante.

La temperatura se controló desde un ordenador mediante una termocupla con capacidad de medición de hasta 125 °C y con una precisión de  $\pm 0.5$  °C (temocupla tipo J) y la medición de la velocidad de aire se realizó con un anemómetro de capacidad de medición de hasta 30 m/s y con una precisión de  $\pm 0.5$  m/s

#### ✓ **Molienda**

Una vez secadas las láminas de papa se procedió a la reducción del tamaño por medio de un molino tradicional (manual).

#### ✓ **Tamizado**

Las muestras fueron tamizadas en una malla de 250 micras de apertura, por cada tratamiento y repetición. Esta operación se realizó con la finalidad de uniformizar las partículas, y así evitar la influencia del tamaño de partícula en los análisis.

#### ✓ **Envasado**

La harina de papa Amarilla Tumbay se envasó en bolsas de polietileno.

### **3.4.2. Determinación de las propiedades funcionales**

#### **a) Capacidad de retención de agua (g H<sub>2</sub>O/g muestra)**

Los procedimientos y los cálculos se realizaron de acuerdo al método descrito por Adeleke y Odedeji (2010).

#### **Procedimiento**

- ✓ Se pesó 1 gramo de harina de papa, la misma que fue colocada en un tubo de centrífuga de 10 ml, para después añadir 10 ml de agua destilada.
- ✓ La muestra preparada se sometió a una agitación constante mediante un agitador magnético y durante 15 minutos.
- ✓ La suspensión preparada se centrifugó a 3000 rpm por un tiempo de 30 minutos a temperatura ambiente.
- ✓ Después de la centrifugación se separó el sobrenadante en probetas de 10 ml y se determinó su volumen.

## Cálculos

Los cálculos se realizaron mediante la ecuación 3.

$$CRA = \frac{\text{Volumen inicial} - \text{Volumen final (ml)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad (3)$$

### b) Solubilidad y poder de hinchamiento

Los procedimientos y los cálculos se realizaron de acuerdo al método descrito por Leach, Mc Cowen y Schoch (1959) citado por Kusumayanti et al. (2014), con algunas modificaciones (se modificó la cantidad de muestra empleada).

#### Procedimiento

- ✓ Se pesó 0.5 gramos de harina de papa, la cual fue colocada en un tubo de centrifuga de 10 ml, y se añadió 10 ml de agua destilada. Luego se procedió a agitar.
- ✓ La suspensión preparada fue llevada a un baño de agua de 65 °C durante 30 minutos con agitación a cada intervalo de 10 minutos. .Luego se sometió a una centrifugación a 3000 rpm durante 30 minutos.
- ✓ Después de la centrifugación se decantó el sobrenadante, y luego se procedió a pesar la muestra sedimentada.
- ✓ El sobrenadante decantado se sometió a un secado en una placa Petri a 100 °C hasta obtener un peso constante.

## Cálculos

Para calcular la solubilidad y poder de hinchamiento se utilizó las ecuaciones 4 y 5, respectivamente.

#### • Solubilidad (%)

$$\%S = \frac{\text{peso de harina soluble (g)}}{\text{peso de muestra (g)}} * 2 * 100 \quad (4)$$

#### • Poder de hinchamiento (g gel/g muestra)

$$PH = \frac{\text{peso de harina sedimentada(g)}}{\text{peso de muestra (g)} - \text{peso soluble (g)}} \quad (5)$$

### 3.4.3. Determinación del color

El color se determinó mediante el método descrito por Atzingen, Pinto y Silva, (2005).

#### Procedimiento

##### • Papa Amarilla Tumbay

- ✓ Se calibró el colorímetro Konica Minolta CR - 400 con su placa de calibración blanca provista. La calibración se realizó para un iluminante D65; dicha calibración sólo es correcta cuando en la pantalla del colorímetro se muestra los siguientes valores:  $Y = 87.7$ ,  $x = 0.3194$ ,  $y = 0.3368$ .
- ✓ Se colocó el colorímetro directamente sobre la superficie plana de la papa partida por la mitad.
- ✓ Luego se procedió a accionar el botón de medición del colorímetro.
- ✓ El colorímetro emite valores en el espacio de color seleccionado, como  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

##### • Harina de papa Amarilla Tumbay

- ✓ Se colocó aproximadamente 5 gramos de harina de papa Amarilla Tumbay en la placa de vidrio provista por Konica Minolta para muestras granulares.
- ✓ Luego se colocó el colorímetro en contacto directo sobre la harina y se procedió a accionar el botón de medición.
- ✓ El colorímetro emite valores en el espacio de color seleccionado como  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .
- ✓ La variación total del color se determinó con la diferencia de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ; mediante la ecuación 6.

$$\Delta E^* = [\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]^{1/2} \quad (6)$$

#### Donde:

$\Delta L^*$ : diferencia de la luminosidad

$\Delta a^*$ : diferencia de la coordenada cromática verde/rojo

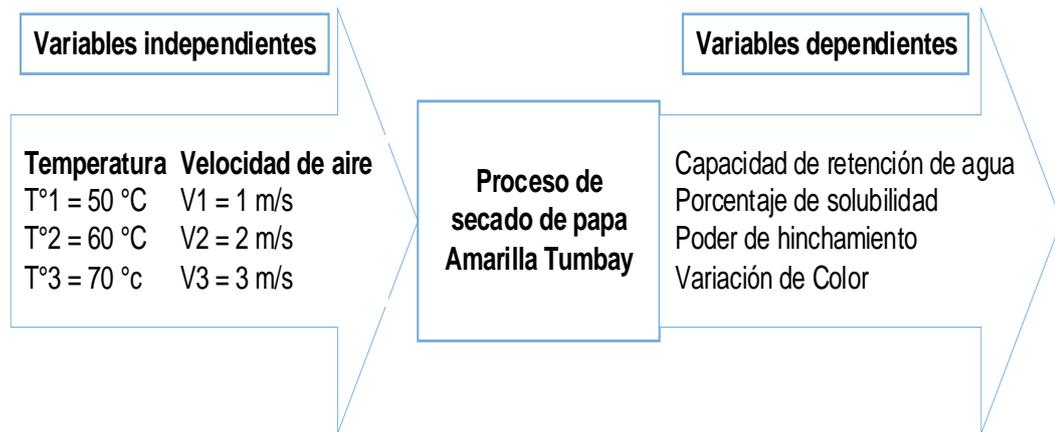
$\Delta b^*$ : diferencia de la coordenada cromática azul/amarillo

### 3.5. Diseño experimental y análisis estadístico

#### 3.5.1. Diseño experimental

##### a) Diseño experimental de variables independientes y dependientes

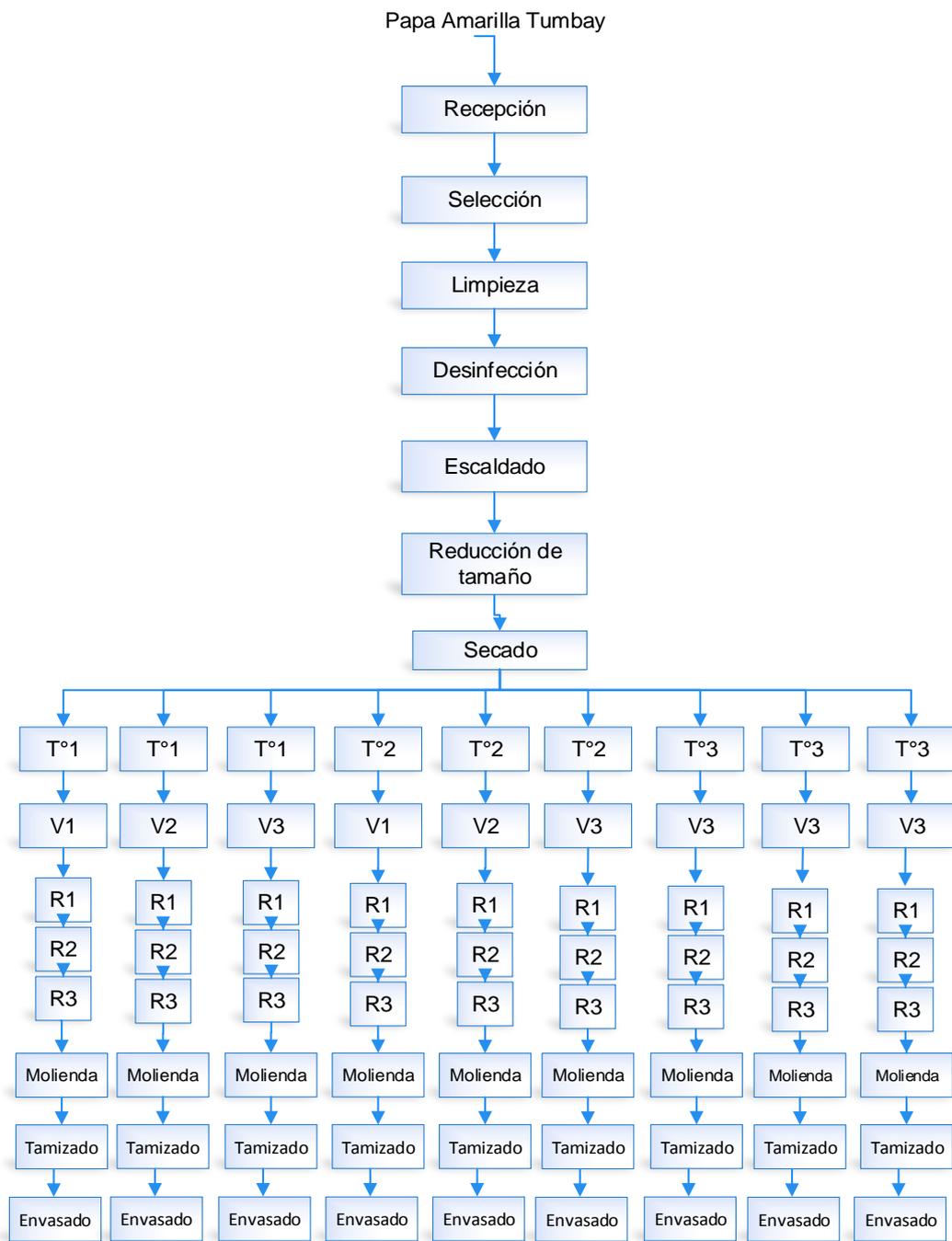
La identificación de los variables independientes y dependientes de la presente investigación, se muestran en la Figura 3.



**Figura 3.** Diseño experimental de variables independientes y dependientes

##### b) Diseño experimental de proceso

El diseño experimental efectuado en la presente investigación, se presenta en la Figura 4.



Donde:

- T°1: 50 °C
- T°2: 60 °C
- T°3: 70 °C
- V1: 1 m/s
- V2: 2 m/s
- V3: 3 m/s
- R1, R2 y R3: Repetición

**Figura 4.** Diseño experimental de proceso

### c) Diseño factorial

La presente investigación correspondió a un diseño factorial, que consiste en  $3^2 = 9$  tratamientos con 3 repeticiones cada tratamiento. Este diseño corresponde a

todas las posibles maneras en que se pueden combinar dos factores en tres niveles cada uno.

Los tratamientos y los factores fueron aleatorizados con el software libre (Statgraphics Centuriun XVI), la misma que se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Tratamientos de la investigación y factores aleatorizados

Tratamiento	Factores					
	Temperatura	Velocidad de aire	CRA	%S	PH	Color
<b>T5</b>	T°2	V2	CRA <sub>22</sub>	S <sub>22</sub>	PH <sub>22</sub>	C <sub>22</sub>
<b>T1</b>	T°1	V1	CRA <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>	PH <sub>11</sub>	C <sub>11</sub>
<b>T8</b>	T°2	V3	CRA <sub>23</sub>	S <sub>23</sub>	PH <sub>23</sub>	C <sub>23</sub>
<b>T3</b>	T°3	V1	CRA <sub>31</sub>	S <sub>31</sub>	PH <sub>31</sub>	C <sub>31</sub>
<b>T6</b>	T°3	V2	CRA <sub>32</sub>	S <sub>32</sub>	PH <sub>32</sub>	C <sub>32</sub>
<b>T9</b>	T°3	V3	CRA <sub>33</sub>	S <sub>33</sub>	PH <sub>33</sub>	C <sub>33</sub>
<b>T2</b>	T°2	V1	CRA <sub>21</sub>	S <sub>21</sub>	PH <sub>21</sub>	C <sub>21</sub>
<b>T4</b>	T°1	V2	CRA <sub>12</sub>	S <sub>12</sub>	PH <sub>12</sub>	C <sub>12</sub>
<b>T7</b>	T°1	V3	CRA <sub>13</sub>	S <sub>13</sub>	PH <sub>13</sub>	C <sub>13</sub>

\* Las pruebas se realizaron por triplicado

### 3.5.2. Análisis estadístico

#### a) Análisis de varianza (ANVA) para el diseño factorial

Se aplicó un ANVA de dos factores (temperatura y velocidad de aire de secado), cada una con 3 niveles; la misma se presenta en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Tabla de análisis de varianza (ANVA)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	Valor-P
<b>A</b>	$SC_A$	$a - 1$	$CM_A$	$CM_A/CM_E$	$P(F > F_0)$
<b>B</b>	$SC_B$	$b - 1$	$CM_B$	$CM_B/CM_E$	$P(F > F_0)$
<b>AB</b>	$SC_{A*B}$	$(a - 1)(b - 2)$	$CM_{A*B}$	$CM_{A*B}/CM_E$	$P(F > F_0)$
<b>Error</b>	$SC_E$	$n^2(n - 1)$	$CM_E$		
<b>Total</b>	$SC_T$	$n(n^2 - 1)$			

Donde:

$$SC_A: \sum_{i=1}^3 \frac{y_{i.}^2}{3n} - \frac{y^2}{n^3}$$

$$SC_B: \sum_{j=1}^3 \frac{y_{.j}^2}{3n} - \frac{y^2}{n^3}$$

$$SC_{A*B}: \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{y_{ij}^2}{3n} - \frac{y^2}{n^3} - SC_A - SC_B$$

$$SC_E: SC_T - SC_{A*B} - SC_B - SC_A$$

$$SC_T: \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{3n}$$

$CM$ : es su suma de cuadrado correspondiente dividido por dos.

$a$  es el nivel del factor A y  $b$  nivel del factor B

### b) Modelo estadístico

El modelo estadístico para el diseño  $3^2$  de la presente investigación se planteó considerando el efecto individual de cada factor (temperatura y velocidad de aire) y de la interacción de ambos factores (temperatura por velocidad de aire), dicho modelo se presenta en la ecuación 7 (Gutiérrez y Vara, 2008):

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \delta_j + (\gamma\delta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (7)$$

con  $i = 1,2,3; k = 1, \dots, n$

Donde:

$\mu$  : es la media general.

$\gamma_i$  : es el efecto del factor temperatura de secado en su nivel  $i$ .

$\delta_j$  : representa el efecto del factor velocidad de aire de secado en su nivel  $j$ .

$(\gamma\delta)_{ij}$  : es el efecto de interacción de ambos en los niveles  $ij$ .

$\epsilon_{ijk}$  : error aleatorio que, se supone, sigue una distribución normal con media cero y varianza constante  $\sigma^2(N(0,\sigma^2))$  y son independientes entre sí.

$n$  : es el número de repeticiones de cada tratamiento.

### c) Hipótesis estadística de la investigación

Las hipótesis estadísticas fueron planteadas para cada factor (temperatura, velocidad de aire y para la interacción de ambas).

#### ✓ Hipótesis para temperatura de secado

$H_0$  : el valor – P de la temperatura  $> 0.05 \rightarrow$  La temperatura no tiene efecto estadísticamente significativo en las propiedades funcionales (CRA, %S y PH) y el color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$ ) de la harina de papa Amarilla Tumbay.

$H_A$  : el valor – P de la temperatura  $< 0.05 \rightarrow$  La temperatura tiene efecto estadísticamente significativo en las propiedades funcionales (CRA, %S y PH) y el color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$ ) de la harina de papa Amarilla Tumbay.

#### ✓ Hipótesis para velocidad de aire de secado

$H_0$  : el valor – P de la velocidad de aire  $> 0.05 \rightarrow$  La velocidad de aire no tiene efecto estadísticamente significativo en las propiedades funcionales (CRA, %S y PH) y el color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$ ) de la harina de papa Amarilla Tumbay.

$H_A$  : el valor – P de la velocidad de aire  $< 0.05 \rightarrow$  La velocidad de aire tiene efecto estadísticamente significativo en las propiedades funcionales (CRA, %S y PH) y el color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$ ) de la harina de papa Amarilla Tumbay.

#### ✓ Hipótesis para temperatura por velocidad de aire de secado

$H_0$  : el valor – P de la interacción temperatura por velocidad de aire  $> 0.05 \rightarrow$  La interacción temperatura por velocidad de aire no tiene efecto

estadísticamente significativo en las propiedades funcionales (CRA, %S y PH) y el color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$ ) de la harina de papa Amarilla Tumbay.

$H_A$  : el valor – P de la interacción temperatura por velocidad de aire  $< 0.05$   
→ La interacción temperatura por velocidad de aire tiene efecto estadísticamente significativo en las propiedades funcionales (CRA, %S y PH) y el color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$ ) de la harina de papa Amarilla Tumbay.

#### **d) Comparación de parejas de medias de tratamientos (Método LSD)**

Una vez rechazada la hipótesis nula en el análisis de varianza (ANVA), se consideró necesario investigar cuáles tratamientos son diferentes, o cuáles provocan la diferencia; mediante el Test de LSD (Fisher).

La prueba de la igualdad de todos los posibles pares de medias se realizó con la siguiente hipótesis:

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_A: \mu_i \neq \mu_j$$

Donde para k tratamientos se tienen en total  $k(k - 1)/2$  pares de medias.

Para los análisis estadísticos se utilizó el software libre, Statgraphics Centurión XVI en su versión 16.1.03 y Excel 2013.

## CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado en las propiedades funcionales

#### 4.1.1 Capacidad de retención de agua

En la Tabla 7, se muestran los resultados de la capacidad de retención de agua de la harina de papa Amarilla Tumbay para cada tratamiento; donde el valor máximo alcanzado fue  $9.49 \pm 0.40$  ml H<sub>2</sub>O/g muestra para el tratamiento T1 (50 °C y 1 m/s); mientras el valor más bajo fue  $5.28 \pm 0.64$  ml H<sub>2</sub>O/g muestra para el tratamiento T8 (70 °C, 2 m/s).

**Tabla 7.** Capacidad de retención de agua

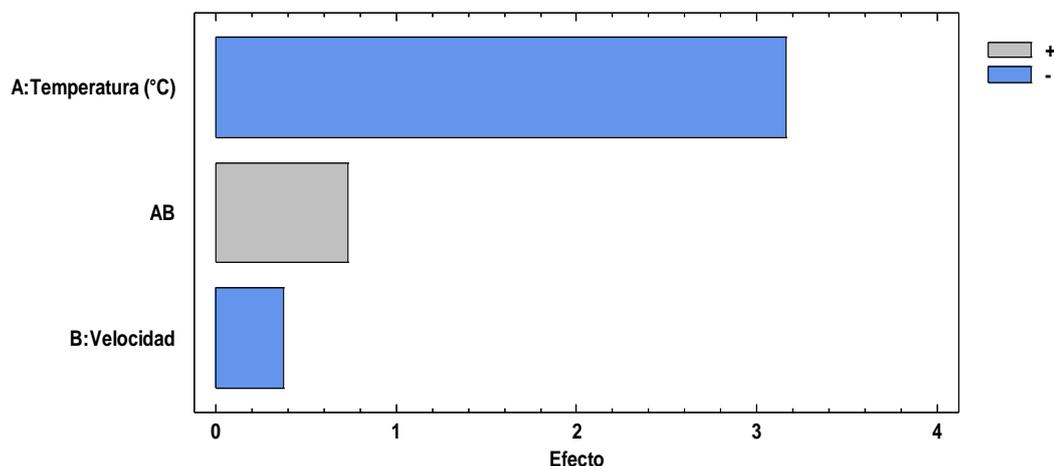
Tratamiento	CRA (ml H <sub>2</sub> O/g muestra)		
	$\bar{X} \pm S$	C.V.	Diferencia significativa
T1 (50 °C, 1 m/s)	$9.49 \pm 0.40$	4.2%	a
T2 (50 °C, 2 m/s)	$8.11 \pm 0.79$	9.7%	b
T3 (50 °C, 3 m/s)	$8.15 \pm 0.20$	2.5%	b
T4 (60 °C, 1 m/s)	$7.02 \pm 0.43$	6.1%	c
T5 (60 °C, 2 m/s)	$7.74 \pm 1.23$	15.9%	cb
T6 (60 °C, 3 m/s)	$7.10 \pm 0.40$	5.6%	cb
T7 (70 °C, 1 m/s)	$5.43 \pm 0.48$	8.8%	d
T8 (70 °C, 2 m/s)	$5.28 \pm 0.64$	12.1%	d
T9 (70 °C, 3 m/s)	$5.56 \pm 0.33$	5.9%	d

\*  $\bar{X}$ : media muestral; S: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variabilidad porcentual

\*Las letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, según la prueba de Fisher.

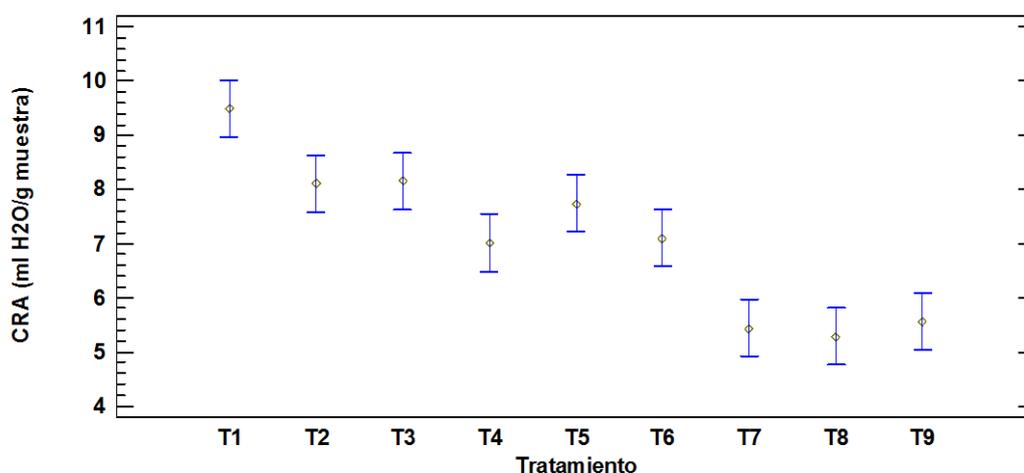
En el Anexo E.1 se muestran los resultados del análisis de varianza (ANVA) efectuado para la capacidad de retención; donde se observa que el valor-P del factor temperatura (A) es menor al nivel de significancia ( $P < 0.05$ ), ello indica que existe diferencia estadísticamente significativa; por tanto, se acepta la hipótesis alterna ( $H_A$ ); mientras, el factor velocidad de aire (B) y de la interacción de temperatura por velocidad de aire ( $A*B$ ) no presenta efecto estadísticamente significativo ( $P > 0.05$ ); por tanto, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ).

A partir del diagrama de Pareto (Figura 5), se deduce que el factor temperatura de secado (A) es el principal responsable de la variación de los valores de la capacidad de retención de agua, seguido por la interacción (A\*B) y la velocidad de aire (B\*); sin embargo, estas dos últimas no son significativas a nivel estadístico.



**Figura 5.** Diagrama de Pareto para capacidad de retención de agua

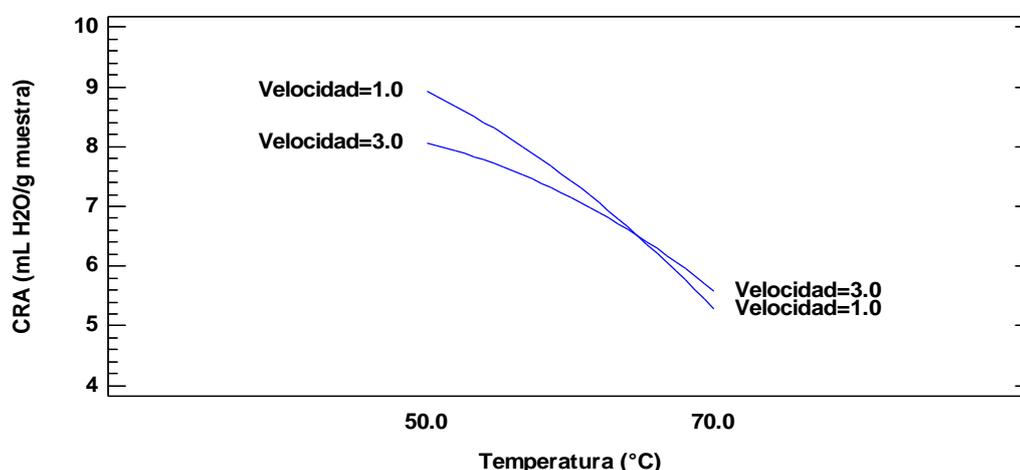
Los resultados de la comparación múltiple efectuado mediante el Test de LSD se muestran en la Figura 6, donde la media del tratamiento T1 (50 °C y 1 m/s) es significativamente diferente de las medias de los tratamientos T8 (70 °C y 2 m/s), T7 (70 °C y 1 m/s) y T9 (70 °C y 3 m/s); T6 (60 °C y 3 m/s), T5 (60 °C y 2 m/s), T4 (60 °C y 1 m/s), T2 (50 °C y 2 m/s) y T3 (50 °C, 3 m/s) que se traslapan entre sí; la misma indica que no existe diferencia significativa entre sus medias.



**Figura 6.** Gráfica de medias para capacidad de retención de agua.

Ysla (2012) determinó el efecto de la temperatura de secado en la capacidad de retención de agua de la harina de mashua, logrando obtener un valor máximo de 5.48 ml H<sub>2</sub>O/g muestra y un valor mínimo de 3.35 ml H<sub>2</sub>O/g muestra en las harinas obtenidas a 50 y 70 °C, respectivamente; e indicó que con el incremento de la temperatura de secado se observó una disminución progresiva de la misma; lo mismo indicaron Enríquez y Mejía (2012) en harina de oca con respecto al efecto de la temperatura; sin embargo, con respecto al efecto de la velocidad de aire, observaron que con el incremento de esta, la capacidad de retención de agua disminuyó; mientras, en la presente investigación se reportó que la velocidad de aire no tiene efecto significativo; y esta se puede atribuir a que la estructura de los componentes de harina papa (almidón) es más fuerte y/o estable en comparación con la de harina de oca.

En la Figura 7, gráfica de interacción de efectos principales de temperatura y velocidad de aire de secado en la capacidad de retención de agua, se observa, que cuando la temperatura de secado se incrementa sin importar la velocidad de aire, la capacidad de retención de agua tiende a disminuir; similares comportamientos mostraron Ysla (2012) en harina de mashua, Enríquez y Mejía (2012) en harina de oca.



**Figura 7.** Gráfica de interacción para capacidad de retención de agua

La baja CRA a altas temperaturas de secado se atribuye a los cambios conferidos a la estructura de los gránulos de almidón durante los procedimientos de secado, ya que la temperatura de secado elevada aumenta la inmovilización de los constituyentes del almidón dentro del gránulo (Malumba, Massaux, Derroanne, Masimango y Béra, 2009). Según; Serpa, Vásquez, Castrillón e Hincapié (2015)

las propiedades de hidratación dependen en gran medida de la estructura física del material a evaluar. En el caso específico de la CRA, esta determina la capacidad de retener agua en la matriz insoluble después de la aplicación de una fuerza externa, por lo que depende en gran medida de la capacidad y estabilidad que presenta la estructura, ya que si esta es muy débil, se presentarán daños después de la aplicación de la fuerza centrífuga y la CRA disminuirá. Así mismo, Vega et al. (2015) indicaron que la disminución de la capacidad de retención de agua depende del grado de alteración celular y estructural que se produce en el producto, a efectos de las condiciones de secado.

#### 4.1.2 Porcentaje de solubilidad

En la Tabla 8, se muestran los resultados del porcentaje de solubilidad de la harina de papa Amarilla Tumbay para cada tratamiento; donde el valor máximo alcanzado fue  $20.85 \pm 0.25\%$  para el tratamiento T9 (70 °C, 3 m/s); mientras el valor mínimo fue  $15.84 \pm 0.46\%$  para el tratamiento T1 (50 °C, 1 m/s).

**Tabla 8.** Porcentaje de solubilidad

Tratamiento	%Solubilidad		
	$\bar{X} \pm S$	C.V.	Diferencia significativa
T1 (50 °C, 1 m/s)	$15.84 \pm 0.46$	2.9%	a
T2 (50 °C, 2 m/s)	$16.01 \pm 0.45$	2.8%	a
T3 (50 °C, 3 m/s)	$17.15 \pm 0.16$	0.3%	b
T4 (60 °C, 1 m/s)	$17.98 \pm 0.27$	1.5%	c
T5 (60 °C, 2 m/s)	$18.51 \pm 0.76$	4.1%	de
T6 (60°C, 3 m/s)	$19.01 \pm 0.55$	2.9%	cd
T7 (70 °C, 1 m/s)	$19.49 \pm 0.32$	1.6%	ef
T8 (70 °C, 2 m/s)	$19.99 \pm 0.49$	2.5%	f
T9 (70 °C, 3 m/s)	$20.85 \pm 0.25$	1.2%	g

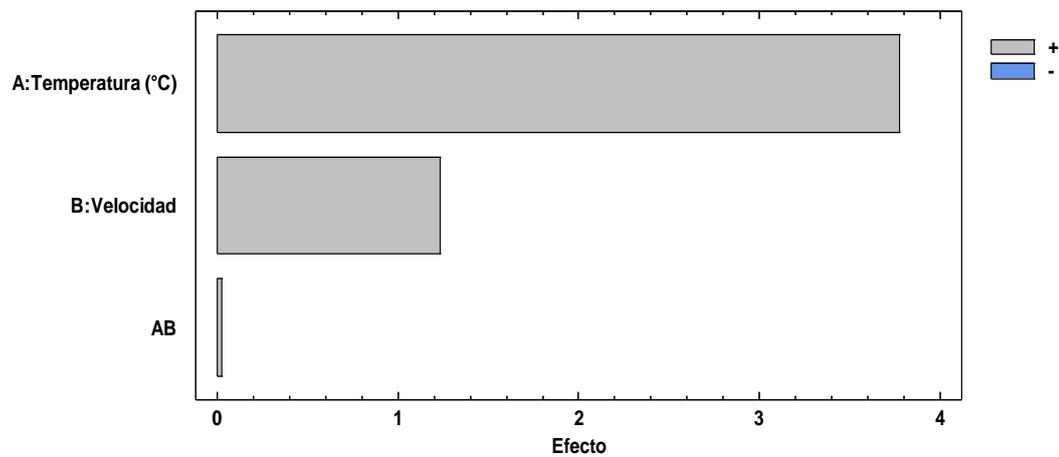
\*  $\bar{X}$ : media muestral; S: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variabilidad porcentual

\*Las letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, según la prueba de Fisher.

Los resultados del análisis de varianza (ANVA) para el porcentaje de solubilidad se muestran en el Anexo E.2; donde el factor temperatura (A) y la velocidad de aire (B) presentan valores - P menor al nivel de significancia ( $P < 0.05$ ), lo cual indica que existe diferencia estadísticamente significativa; por tanto, se acepta la

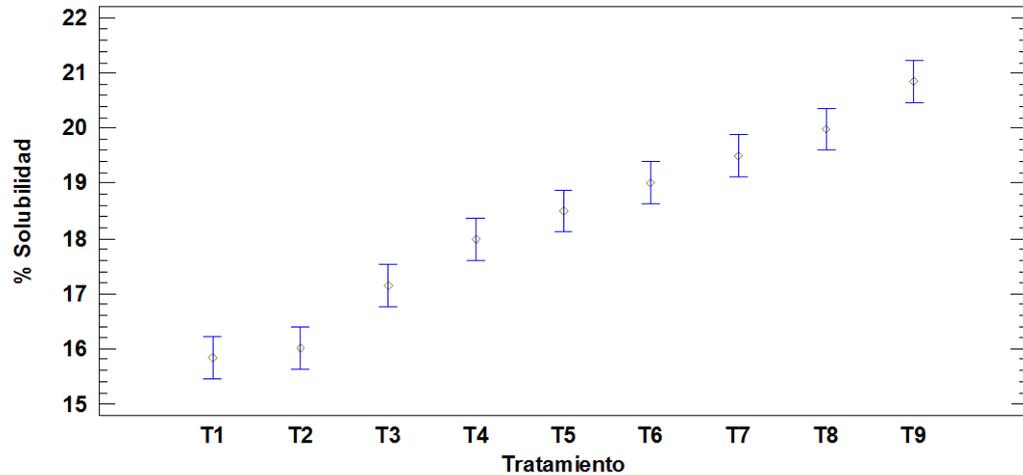
hipótesis alterna ( $H_A$ ); mientras el valor-P de la interacción de temperatura por velocidad de aire ( $A*B$ ) es mayor al nivel de significancia ( $P > 0.05$ ), la misma que manifiesta, que no existe diferencia estadísticamente significativa, por consiguiente, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ).

En la Figura 8, diagrama de Pareto, se observa que el factor temperatura (A) muestra efecto altamente significativo, seguido por el factor velocidad de aire (B); mientras el efecto de la interacción de ambos factores ( $A*B$ ) es nulo.



**Figura 8.** Diagrama de Pareto para porcentaje de solubilidad

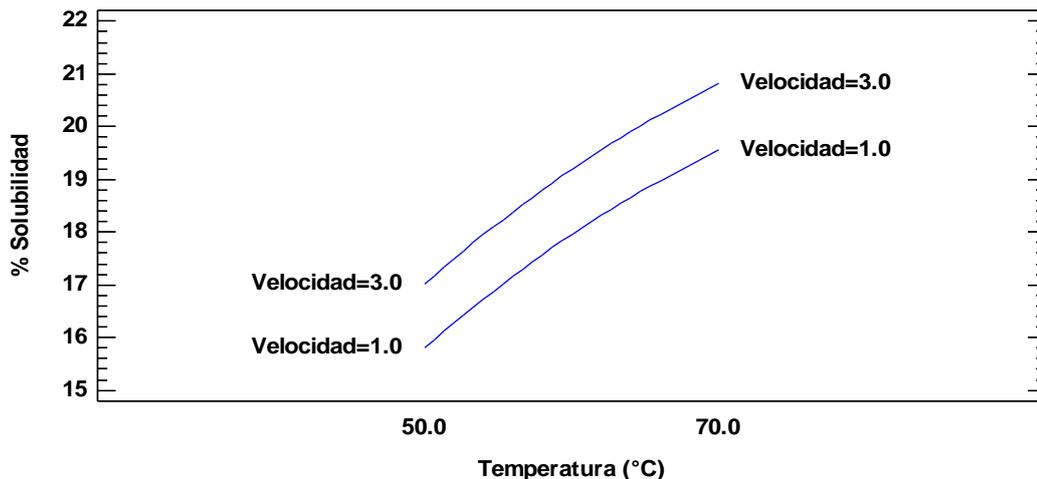
En la Figura 9 se presenta la gráfica de medias de comparación múltiple efectuada a través del Test de LSD; donde los intervalos de confianza de los tratamientos T1 (50 °C y 1 m/s) y T2 (50 °C y 2 m/s); T4 (60 °C y 1 m/s), T6 (60 °C y 3 m/s), T5 (60 °C y 2 m/s), T7 (70 °C y 1 m/s) y T8 (70 °C y 2 m/s) se traslapan, lo cual indica que no existe diferencia significativa entre sus medias; mientras el intervalo de confianza de los tratamiento T3 (50 °C y 3 m/s) y T9 (70 °C y 3 m/s) no se traslapan, ello indica que entre sus medias existe diferencia significativa.



**Figura 9.** Gráfica de medias para porcentaje de solubilidad.

El porcentaje de solubilidad obtenido a 50 °C (T1, T2 y T3) es sustentada con el estudio de Olatunde et al. (2016), quienes reportaron un valor similar (16.18% de solubilidad en harina de camote; y la solubilidad obtenida a 60 °C (T4, T5 y T6) es próximo a lo reportado por Alonso et al. (2014), 21.84% de solubilidad en harina de papa.

En la Figura 10 se presenta la gráfica de interacción de efectos principales de temperatura y velocidad de aire de secado en el porcentaje de solubilidad, donde se observa, que al incrementar la temperatura y velocidad de aire de secado se registra mayor porcentaje de solubilidad; al respecto, Ahmed, Akter y Eun (2010) indicaron que las muestras obtenidas por secado al aire caliente tienen una solubilidad más alta y aumentan proporcionalmente con el aumento de la temperatura de secado.



**Figura 10.** Gráfica de interacción para porcentaje de solubilidad

La solubilidad en agua de las harinas refleja el grado de degradación de su componente (almidón) y mide la cantidad de solubles liberados de los gránulos de almidón después del tratamiento térmico. El incremento de la solubilidad en el presente estudio a efectos del incremento de la temperatura de secado se debe a la degradación de los gránulos de almidón y la exposición de los grupos hidrófilos (Ahmed et al., 2010); mientras a efectos del incremento de la velocidad de aire, se podría atribuir a que, a altas velocidades de aire ocurre un daño estructural y una degradación de las moléculas de almidón en mayor proporción; y en consecuencia, se produce una mayor solubilidad del producto (Guha, Ali y Bhattacharya, 1997; Lv y Zhang, 2017).

#### 4.1.3 Poder de hinchamiento

En la Tabla 9, se muestran los resultados del poder de hinchamiento de la harina de papa Amarilla Tumbay para cada tratamiento; donde el valor máximo alcanzado fue  $11.52 \pm 0.38$  g gel/g muestra para el tratamiento T2 (50 °C y 2 m/s); mientras el valor más bajo fue  $8.65 \pm 0.10$  g gel/g muestra para el tratamiento T7 (70 °C, 1 m/s).

**Tabla 9.** Poder de hinchamiento

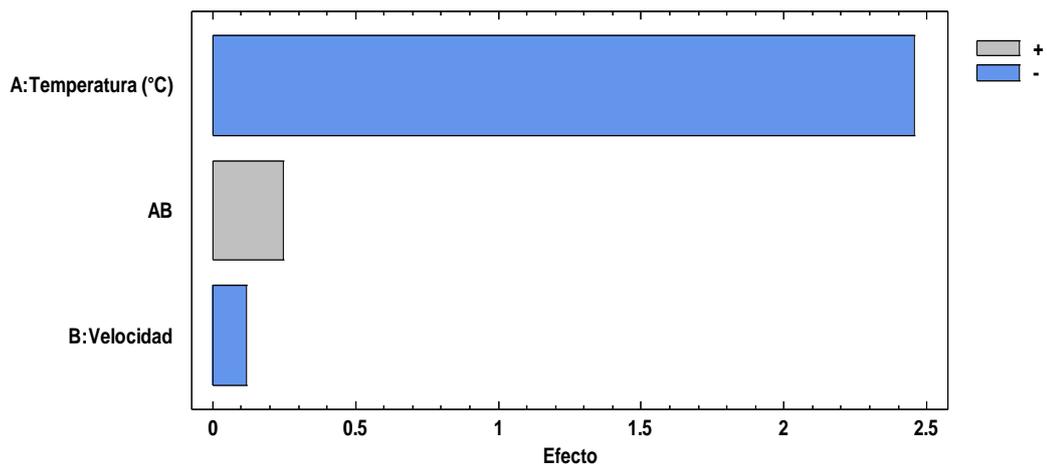
Tratamiento	PH (g gel/ g muestra)		
	$\bar{X} \pm S$	C.V	Diferencia significativa
T1 (50 °C, 1 m/s)	11.36 ± 0.34	3%	cd
T2 (50 °C, 2 m/s)	11.52 ± 0.38	3.3%	d
T3 (50 °C, 3 m/s)	10.95 ± 0.15	1.4%	c
T4 (60 °C, 1 m/s)	10.37 ± 0.33	3.2%	b
T5 (60 °C, 2 m/s)	9.95 ± 0.22	2.2%	b
T6 (60 °C, 3 m/s)	10.35 ± 0.15	1.4%	b
T7 (70 °C, 1 m/s)	8.65 ± 0.10	1.2%	a
T8 (70 °C, 2 m/s)	9.07 ± 0.45	5%	a
T9 (70 °C, 3 m/s)	8.73 ± 0.13	1.5%	a

\*  $\bar{X}$ : media muestral; S: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variabilidad porcentual

\*Las letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, según la prueba de Fisher.

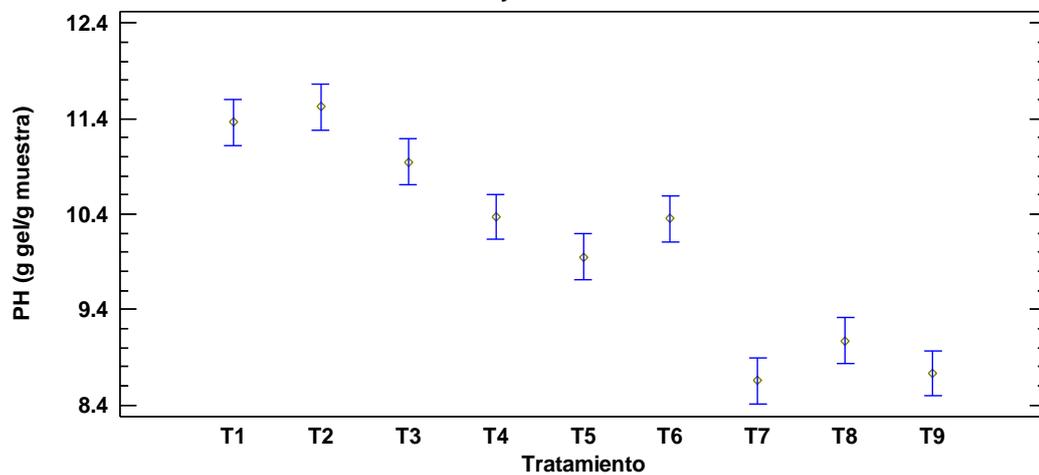
En el Anexo E.3 se presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) para el poder de hinchamiento; donde el valor-P del factor de temperatura (A) y la interacción de temperatura por velocidad de aire (A\*B) es menor al nivel de significancia ( $P < 0.05$ ), ello indica que existe diferencia estadísticamente significativa; por tanto, se acepta la hipótesis alterna ( $H_A$ ); mientras, el valor-P de la velocidad de aire (B) es mayor al nivel de significancia ( $P > 0.05$ ), por tanto, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ).

En la Figura 11, diagrama de Pareto, se observa que el factor temperatura (A) tiene efecto altamente significativo, seguido por la interacción (A\*B) que presenta efecto ligeramente significativo, y por último de la velocidad de aire (B\*), que estadísticamente no presenta ningún efecto.



**Figura 11.** Diagrama de Pareto para poder de hinchamiento

En la Figura 12 se muestra la gráfica de medias de comparación múltiple efectuada mediante el Test de LSD, donde los intervalos de confianza de los tratamientos T7 (70 °C y 1 m/s), T9 (70 °C y 3 m/s) y T8 (70 °C y 2 m/s); T5 (60°C y 3 m/s), T6 (60 °C y 3 m/s) y T4 (60 °C y 1 m/s); T3 (50 °C y 3 m/s), T1 (50 °C y 2 m/s) y T2 (50 °C y 2 m/s) se traslapan, lo cual indica que no existe diferencia significativa entre sus medias; sin embargo, existe diferencia significativa entre las medias de los grupos homogéneos  $a \neq b \neq c, d$  (Tabla 9).

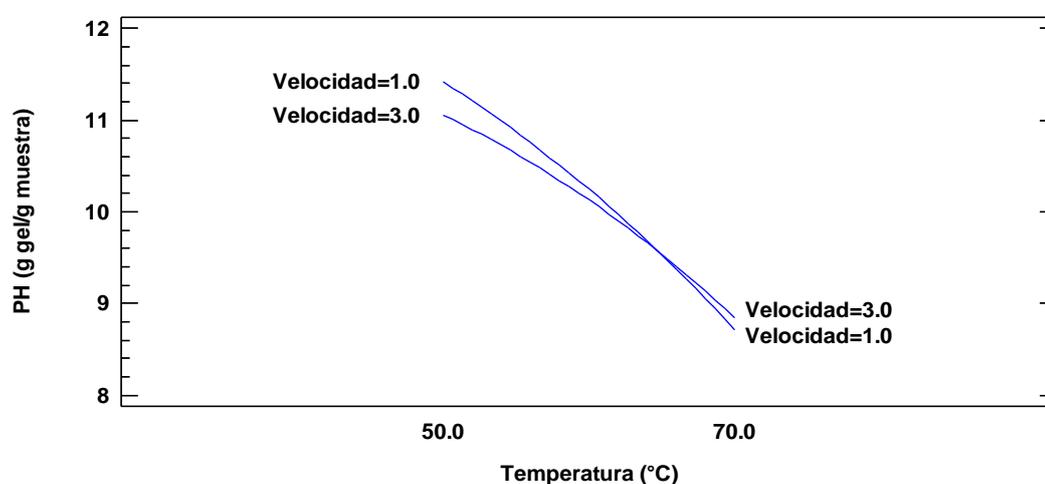


**Figura 12.** Gráfica de medias para poder de hinchamiento.

El poder de hinchamiento de la harina de papa Amarilla Tumbay obtenida a 50 °C de temperatura de secado (T1, T2 y T3), son próximos a lo reportado por Kusumayanti et al. (2015) en harina de yuca (13.80 g gel/g muestra); mientras, el poder de hinchamiento de la muestra obtenida a 60 °C (T4, T5 y T6), es inferior a

lo reportado por Alonso et al. (2014) en harina de papa (17.04 g gel/g muestra); estas diferencias se atribuyen al contenido de sus polisacáridos (almidón).

En la Figura 13, gráfica de interacción de efectos principales de temperatura y velocidad de aire en el poder de hinchamiento, se observa que al incrementar la temperatura de secado y a cualquier velocidad de aire, el poder de hinchamiento tiende a disminuir. Al respecto, Ahmed et al. (2010) manifiestan que las muestras secadas al aire caliente (convección) y a bajas temperaturas, muestran un poder de hinchamiento más alto, y que con el incremento de la temperatura de secado esta propiedad tiende a disminuir proporcionalmente.



**Figura 13.** Gráfica de interacción para poder de hinchamiento.

Leach, McCowen y Schoch (1959) postularon que la fuerza de unión dentro de los gránulos de almidón influye en el hinchamiento; por lo tanto, un almidón altamente asociado es relativamente resistente a la interacción con el agua. Según, Jayaraman, Das Gupta y Babu Rao (1990) durante el proceso de secado existe una ruptura celular y dislocación irreversible, causando un colapso en la estructura densa del material, contracción significativa de capilares y reducción en propiedades hidrofílicas, afectando la capacidad de absorber agua. Así mismo, Dehnad, Jafari y Afrasiabi (2016) indican que las altas temperaturas de secado disminuyen el poder de hinchamiento de los carbohidratos y aumentan su susceptibilidad a la descomposición durante los procesos hidrotermales.

Para el secado de fuentes de carbohidratos, el proceso de secado a bajas temperaturas podría producir harinas finales con cualidades funcionales más altas (Dehnad et al., 2016). Durante el proceso de secado ocurre un fenómeno llamado

contracción, que está estrechamente relacionado con los atributos de calidad negativa del material secado, ya que los productos reducidos se caracterizan por una mayor dureza, y en consecuencia una reducida interacción con el agua. Así mismo, los productos sometidos a un secado por aire caliente presentan una microestructura densa con un empaquetamiento apretado y una conexión fuerte entre las células, lo que le permite la incapacidad de los tejidos para absorber suficiente agua (Karam, Petti, Zimmer, Djantou y Scher, 2016).

## 4.2 Efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado en el color

### 4.2.1 Coordenada L\*

En la Tabla 10, se muestran los resultados de la coordenada L\* del color de la harina de papa Amarilla Tumbay para cada tratamiento; donde el valor máximo fue  $71.48 \pm 0.87$  para el tratamiento T1 (50 °C y 1 m/s); mientras el valor más bajo fue  $60.90 \pm 0.98$  para el tratamiento T7 (70 °C, 1 m/s).

**Tabla 10.** Coordenada L\* del color

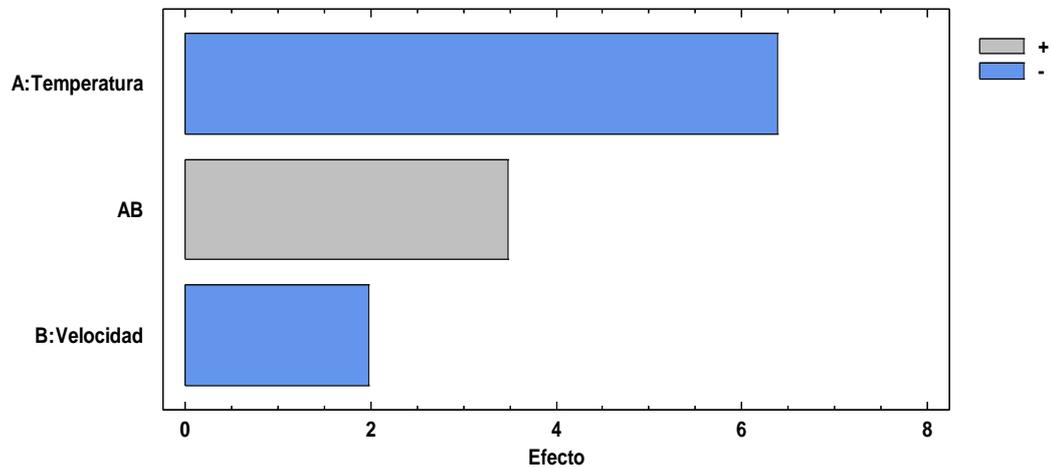
Tratamiento	L*		
	$\bar{X} \pm S$	C.V.	Diferencia significativa
T1 (50 °C, 1 m/s)	$71.48 \pm 0.87$	1.2%	a
T2 (50 °C, 2 m/s)	$68.92 \pm 0.40$	0.6%	b
T3 (50 °C, 3 m/s)	$67.11 \pm 0.75$	1.1%	c
T4 (60 °C, 1 m/s)	$66.65 \pm 0.26$	0.4%	c
T5 (60 °C, 2 m/s)	$64.11 \pm 0.60$	0.9%	d
T6 (60 °C, 3 m/s)	$62.48 \pm 0.60$	0.9%	e
T7 (70 °C, 1 m/s)	$60.90 \pm 0.98$	1.6%	f
T8 (70 °C, 2 m/s)	$63.96 \pm 0.42$	0.7%	d
T9 (70 °C, 3 m/s)	$63.51 \pm 1.09$	1.7%	ed

\*  $\bar{X}$ : media muestral; S: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variabilidad porcentual

\*Las letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, según la prueba de Fisher.

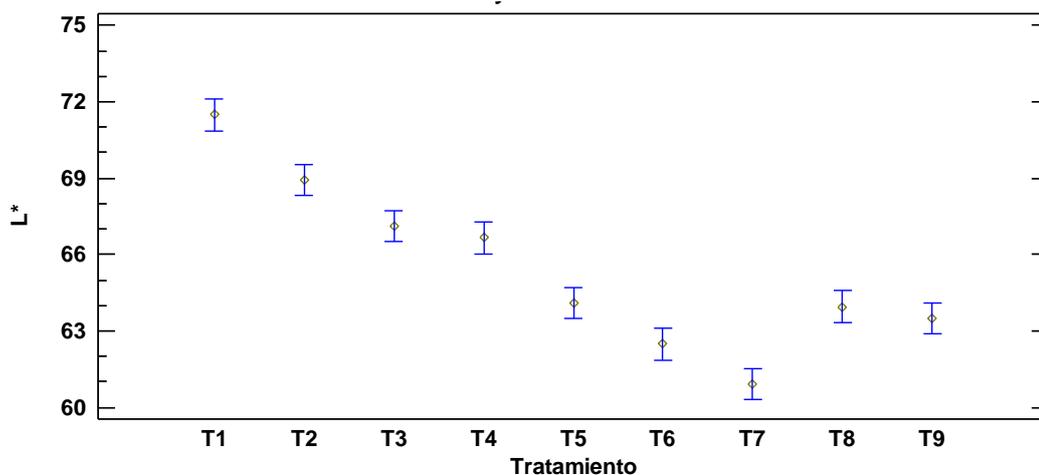
En el Anexo F.1 se muestran los resultados del análisis de varianza (ANVA) para la coordenada L\*; donde se observa que el factor temperatura (A), velocidad de aire (B) y a la interacción de ambas (A\*B) presentan un valor-P menor al nivel de significancia ( $P < 0.05$ ), ello indica que existe diferencia estadísticamente significativa; por tanto, se acepta la hipótesis alterna ( $H_A$ ).

En la Figura 14, diagrama de Pareto, se observa efecto altamente significativo del factor de temperatura (A), seguido por el factor velocidad de aire (B) y por la interacción de ambas (A\*B); este último presenta efecto ligeramente significativo.



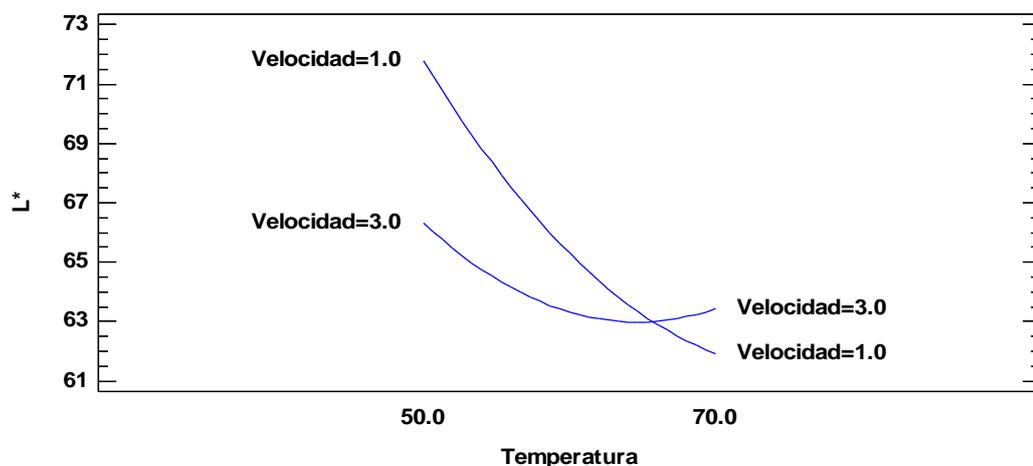
**Figura 14.** Diagrama de Pareto para la coordenada L\* del color

En la Figura 15 se presenta la gráfica de medias de comparación múltiple efectuada a través de Test de LSD; donde los intervalos de confianza de los tratamientos T6 (60 °C y 3 m/s), T9 (70 °C y 3 m/s), T8 (70 °C y 2 m/s) y T5 (70 °C y 1 m/s); T4 (60 °C y 1 m/s) y T3 (50 °C y 3 m/s) se traslapan, lo cual indica que no existe diferencia significativa entre sus medias; mientras el intervalo de confianza de los tratamientos T1 (50 °C y 1 m/s), T2 (50 °C y 2 m/s) y T7 (70 °C y 1 m/s) no se traslapan; ello indica que la media de estos tratamientos son diferentes entre sí y de las otras.



**Figura 15.** Gráfica de medias para la coordenada L\* del color.

En la Figura 16 se presenta la gráfica de interacción de los efectos principales de temperatura y velocidad de aire para la coordenada L\*, donde se observa que, cuando la temperatura y velocidad de aire incrementan, los valores de L\* tienden a disminuir, y en efecto el producto presenta mayor oscurecimiento. Resultados diferentes mostraron Dangpium et al. (2016) en el secado de camote, donde a una mayor temperatura de secado, obtuvieron valores de L\* más altos con respecto al color de la muestra fresca. Ello confirma lo que indica Van Hall (2000), que la luminosidad de la harina no siempre está relacionado con el color de la pulpa de las raíces, sino que es una indicación del alto nivel de pardeamiento que se produce durante el proceso de secado.



**Figura 16.** Gráfica de interacción para la coordenada L\* del color.

#### 4.2.2 Coordenada cromática a\*

En la Tabla 11, se muestran los resultados de la coordenada cromática a\* del color de la harina de papa Amarilla Tumbay para cada tratamiento; donde el valor máximo fue  $6.96 \pm 0.38$  para el tratamiento T2 (50 °C y 2 m/s); mientras el valor más bajo fue  $3.77 \pm 0.70$  para el tratamiento T9 (70 °C, 3 m/s).

**Tabla 11.** Coordenada cromática a\* del color

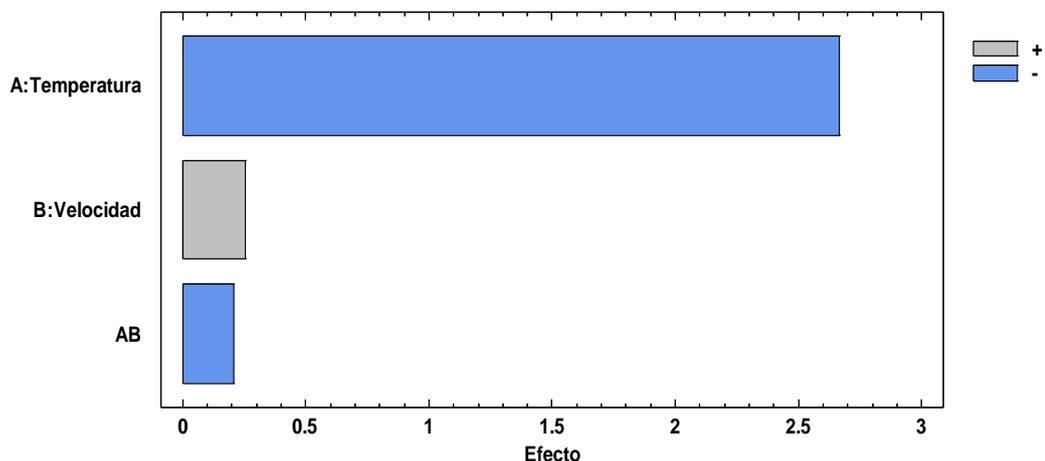
Tratamiento	a*		
	$\bar{X} \pm S$	C.V.	Diferencia significativa
T1 (50 °C, 1 m/s)	$6.44 \pm 0.12$	1.9%	ab
T2 (50 °C, 2 m/s)	$6.96 \pm 0.38$	5.5%	b
T3 (50 °C, 3 m/s)	$6.44 \pm 0.59$	9.2%	ab
T4 (60 °C, 1 m/s)	$4.95 \pm 0.23$	4.6%	c
T5 (60 °C, 2 m/s)	$5.18 \pm 0.15$	2.9%	c
T6 (60 °C, 3 m/s)	$6.14 \pm 0.30$	4.9%	a
T7 (70 °C, 1 m/s)	$4.19 \pm 0.13$	3.1%	d
T8 (70 °C, 2 m/s)	$3.89 \pm 0.49$	12.6%	d
T9 (70 °C, 3 m/s)	$3.77 \pm 0.70$	18.6%	d

\*  $\bar{X}$ : media muestral; S: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variabilidad porcentual

\*Las letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, según la prueba de Fisher.

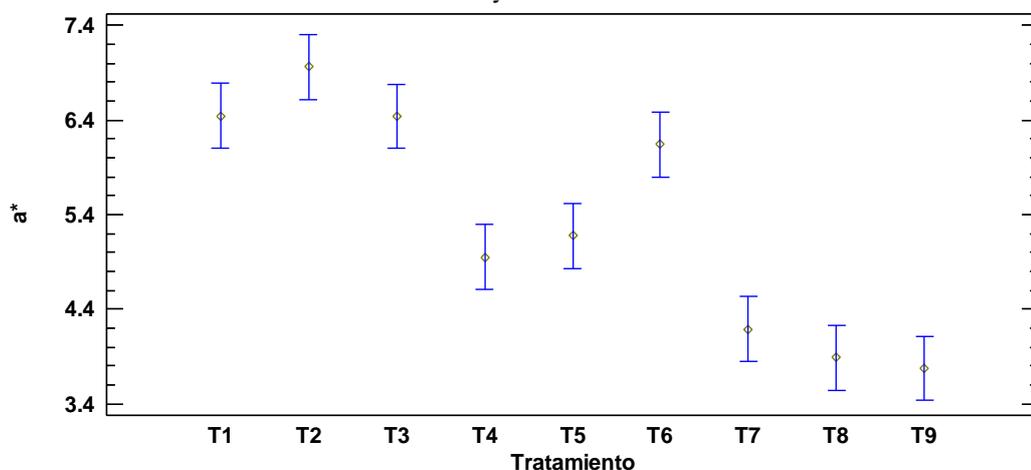
Los resultados del análisis de varianza (ANVA) para la coordenada cromática a\* del color se muestra en el Anexo F.2; donde se observa, que el valor-P del factor de temperatura (A) y la interacción de temperatura por velocidad de aire (A\*B) es menor al nivel de significancia ( $P < 0.05$ ), lo cual indica que existe diferencia estadísticamente significativa; por tanto, se acepta la hipótesis alterna ( $H_A$ ); mientras el valor-P del factor velocidad de aire (B) es mayor al nivel de significancia ( $P > 0.05$ ); por tanto, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ).

En la Figura 17 se presenta el diagrama de Pareto para la coordenada cromática  $a^*$ , donde se observa que el factor temperatura es el principal responsable de la variación en los valores de dicha coordenada, seguido por el factor velocidad de aire (B) y la interacción de ambos (A\*B); sin embargo, estas dos últimas no muestran ningún efecto a nivel estadístico.



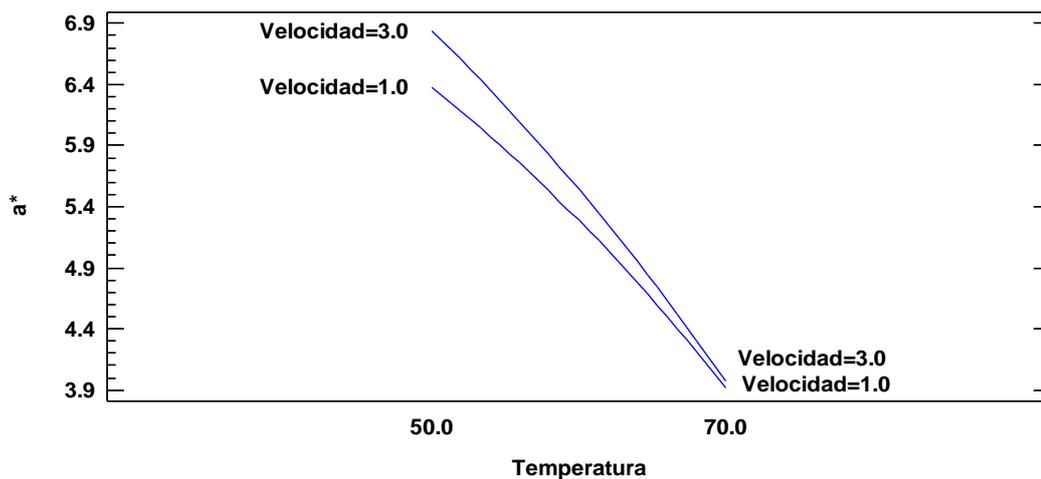
**Figura 17.** Diagrama de Pareto para la coordenada cromática  $a^*$  del color

En la Figura 18 se presenta la gráfica de medias de comparación múltiple efectuada mediante el Test de LSD; donde los intervalos de confianza de los tratamientos T9 (70 °C y 3 m/s), T8 (70 °C y 2 m/s) y T7 (70 °C y 1 m/s); T4 (60 °C y 1 m/s) y T5 (60 °C y 2 m/s); T6 (60 °C y 3 m/s), T3 (50 °C y 3 m/s), T1 (50 °C y 1 m/s) y T2 (50 °C y 2 m/s) se traslapan, lo cual indica que no existe diferencia significativa entre sus medias; sin embargo, existe diferencia significativa entre las medias de los grupos homogéneos  $ab \neq c \neq d$  (Tabla 11).



**Figura 18.** Gráfica de medias para la coordenada cromática  $a^*$  del color

En la Figura 19, se presenta la gráfica de interacción de los efectos principales de temperatura y velocidad de aire para la coordenada cromática  $a^*$  del color, donde se reporta que a cualquier nivel de velocidad de aire y a medida que se incrementa la temperatura, los valores de la coordenada cromática  $a^*$  del color tiende a descender. Lo ideal es que los valores de  $a^*$  tengan mínima variación con respecto al valor  $a^*$  del producto de referencia.



**Figura 19.** Gráfica de interacción para la coordenada cromática  $a^*$  del color.

#### 4.2.3 Coordenada cromática $b^*$

En la Tabla 12, se muestran los resultados de la coordenada cromática  $b^*$  del color de la harina de papa Amarilla Tumbay para cada tratamiento; donde el valor máximo fue  $71.12 \pm 0.6$  para el tratamiento T1 (50 °C y 1 m/s); mientras el valor más bajo fue  $53.82 \pm 0.28$  para el tratamiento T9 (70 °C, 3 m/s).

**Tabla 12.** Coordenada cromática b\* del color

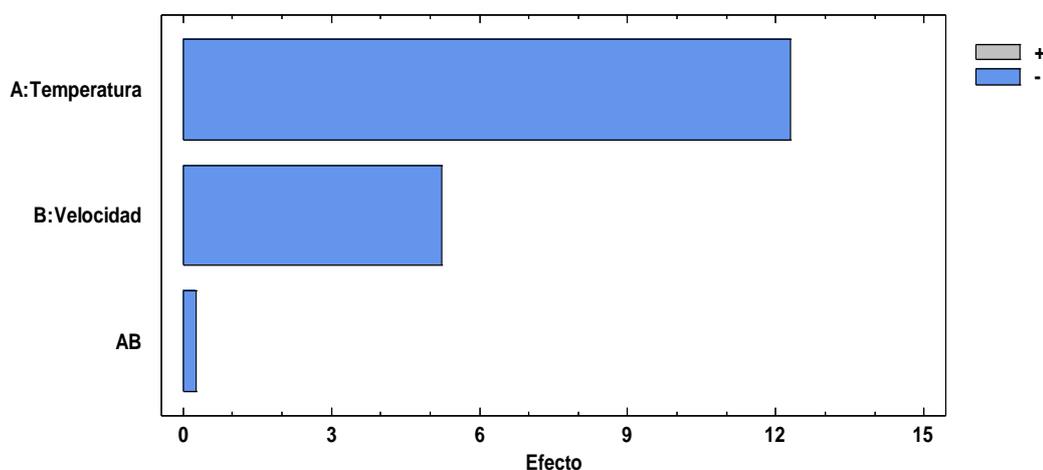
Tratamiento	b*		
	$\bar{X} \pm S$	C.V.	Diferencia significativa
T1 (50 °C, 1 m/s)	71.12 ± 0.63	0.9%	a
T2 (50 °C, 2 m/s)	67.75 ± 0.81	1.2%	b
T3 (50 °C, 3 m/s)	65.90 ± 0.86	1.3%	c
T4 (60 °C, 1 m/s)	65.75 ± 0.48	0.7%	c
T5 (60 °C, 2 m/s)	63.19 ± 0.51	0.8%	d
T6 (60 °C, 3 m/s)	60.99 ± 0.44	0.7%	e
T7 (70 °C, 1 m/s)	59.58 ± 0.75	1.3%	f
T8 (70 °C, 2 m/s)	54.48 ± 0.36	0.7%	g
T9 (70 °C, 3 m/s)	53.82 ± 0.28	0.5%	g

\*  $\bar{X}$ : media muestral; S: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variabilidad porcentual

\*Las letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, según la prueba de Fisher.

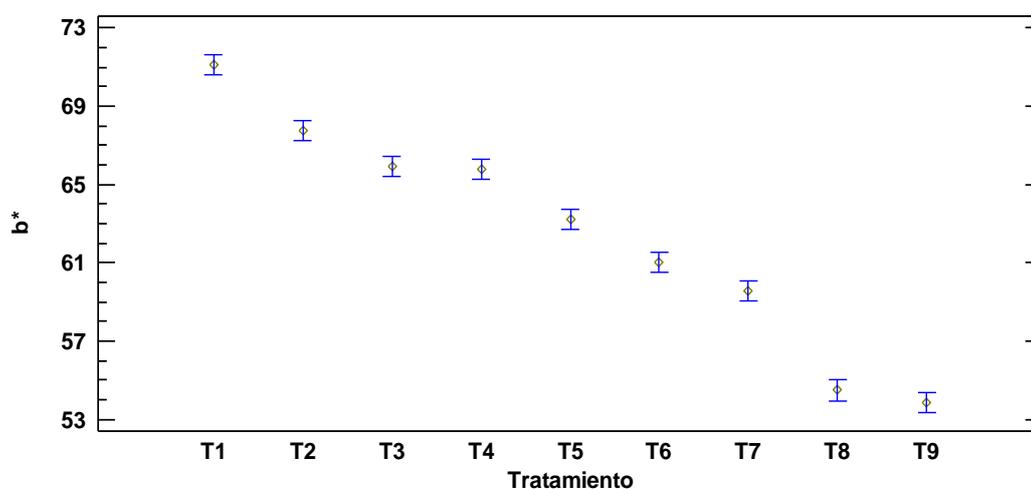
En el Anexo F.3 se muestran los resultados del análisis de varianza (ANVA) para la coordenada b\* del color; donde se observa que el valor-P del factor temperatura (A), velocidad de aire (B) y de la interacción de temperatura y velocidad de aire (A\*B) es menor al nivel de significancia ( $P < 0.05$ ), ello indica que existe diferencia estadísticamente significativa; por tanto se acepta la hipótesis alterna ( $H_A$ ).

A partir del diagrama de Pareto (Figura 20), se deduce que el factor temperatura (A) tiene efecto altamente significativo, seguido por el factor velocidad de aire (B); mientras el efecto de la interacción de ambos es prácticamente nulo (A\*B).



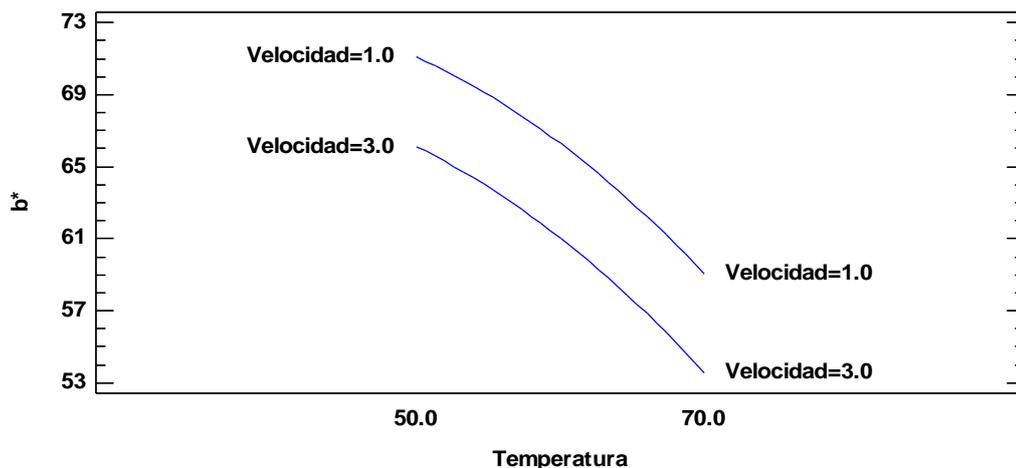
**Figura 20.** Diagrama de Pareto para la coordenada cromática b\* del color

En la Figura 21 se muestra la gráfica de medias de comparación múltiple efectuado a través del Test de LSD; donde el intervalo de confianza de los tratamientos T9 (70 °C y 3 m/s) y T8 (70 °C y 2 m/s); T4 (60 °C y 1 m/s) y T3 (50 °C y 3 m/s) se traslapan, ello indica que no existe diferencia significativa entre sus medias; mientras el intervalo de confianza de los tratamientos T7 (70 °C y 1 m/s), T6 (60 °C y 3 m/s), T5 (60 °C y 2 m/s), T2 (50 °C y 2 m/s) y T1 (50 °C y 1 m/s) no se traslapan, la misma indica que existe diferencia significativa entre sus medias y de las otras.



**Figura 21.** Gráfica de medias para la coordenada cromática b\* del color.

En la Figura 22, se presenta la gráfica de interacción de los efectos principales de temperatura y velocidad de aire para la coordenada cromática b\* del color de la harina de papa Amarilla Tumbay; donde se observa, que a medida se incrementa la temperatura y velocidad de aire de secado, los valores cromáticos de b\* tienden a disminuir.



**Figura 22.** Gráfica de interacción para la coordenada  $b^*$  del color.

Rojas y Duran (2011), reportaron  $L^* = 70$ ,  $a^* = 2.1$  y  $b^* = 25$  en la harina de papa Criolla (pulpa amarilla) a 1 m/s de velocidad de aire y 50 °C de temperatura, e indicaron que el secado por aire caliente (convección) degrada en gran proporción las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del color. Por otro lado, Dangpium et al. (2016) reportaron valores  $L^* = 80.88$ ,  $a^* = 10.54$  y  $b^* = 28.11$  en la harina de camote (pulpa naranja) secada a 70 °C y mencionaron que las muestras de harina presentaron una coloración más clara después del secado, valores de  $L^*$  más altos y,  $a^*$  y  $b^*$  más bajos, concluyendo que cualquier variación de las condiciones de secado, provoca un cambio en los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del color. Olatunde et al. (2016) indicaron que el parámetro  $b^*$  es una mejor medida del color en las harinas obtenidas de tubérculos con pulpas coloreadas.

Akoy (2014), indica que la disminución en el valor  $L^*$  puede atribuirse a la formación del pigmento marrón durante el secado, debido a que el pardeamiento aumenta con el aumento de la temperatura de secado. Asimismo, Dangpium et al. (2016) indican que la disminución en los valores de  $a^*$  y  $b^*$  de las harinas indican una pérdida del color amarillo y rojo debido al efecto de las condiciones de proceso. Los valores  $b^*$  en específico, expresan la pérdida del amarillez y las principales causas del cambio de color amarillo se debe a la degradación de los carotenoides y al pardeamiento no enzimático (Maillard) que son consecuencias del efecto de las altas temperaturas y velocidades de aire de secado (Avila y Silva, 1999; De Pelli, Lovito, Maenza, Derossi y Severini, 2008).

#### 4.2.4 Variación total del color

En la Tabla 13, se muestran los resultados de la variación total del color de la harina de papa Amarilla Tumbay para cada tratamiento; donde la variación máxima fue  $29.56 \pm 0.72$  para el tratamiento T9 (70 °C y 3 m/s); mientras la mínima variación fue  $10.63 \pm 0.89$  para el tratamiento T1 (50 °C, 1 m/s).

**Tabla 13.** Variación total del color

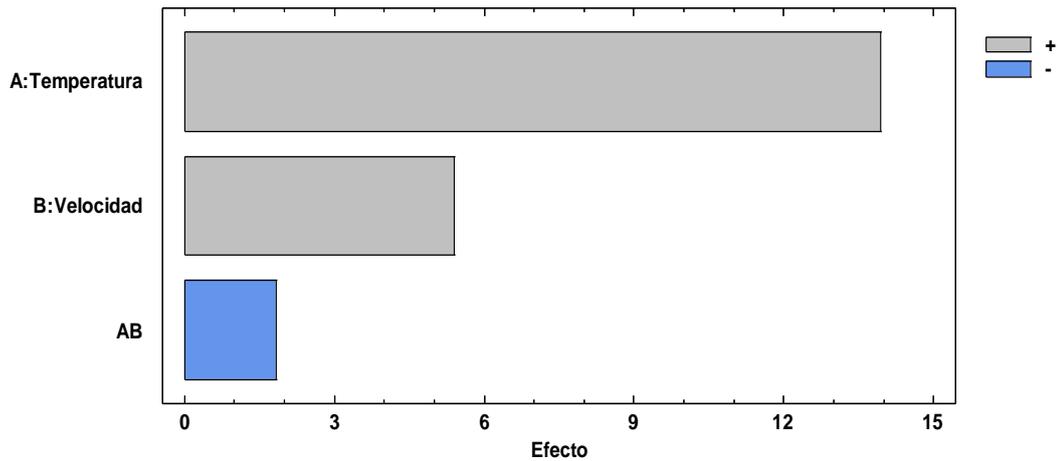
Tratamiento	$\Delta E^*$		
	$\bar{X} \pm S$	C.V.	Diferencia significativa
T1 (50 °C, 1 m/s)	$10.63 \pm 0.89$	8.4%	a
T2 (50 °C, 2 m/s)	$14.85 \pm 0.42$	2.8%	b
T3 (50 °C, 3 m/s)	$17.44 \pm 0.63$	3.6%	c
T4 (60 °C, 1 m/s)	$17.95 \pm 0.31$	1.7%	c
T5 (60 °C, 2 m/s)	$21.51 \pm 0.76$	3.5%	d
T6 (60 °C, 3 m/s)	$24.17 \pm 0.57$	2.4%	e
T7 (70 °C, 1 m/s)	$26.41 \pm 1.19$	4.5%	f
T8 (70 °C, 2 m/s)	$28.75 \pm 0.56$	1.9%	g
T9 (70 °C, 3 m/s)	$29.56 \pm 0.72$	2.4%	g

\*  $\bar{X}$ : media muestral; S: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variabilidad porcentual

\*Las letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, según la prueba de Fisher.

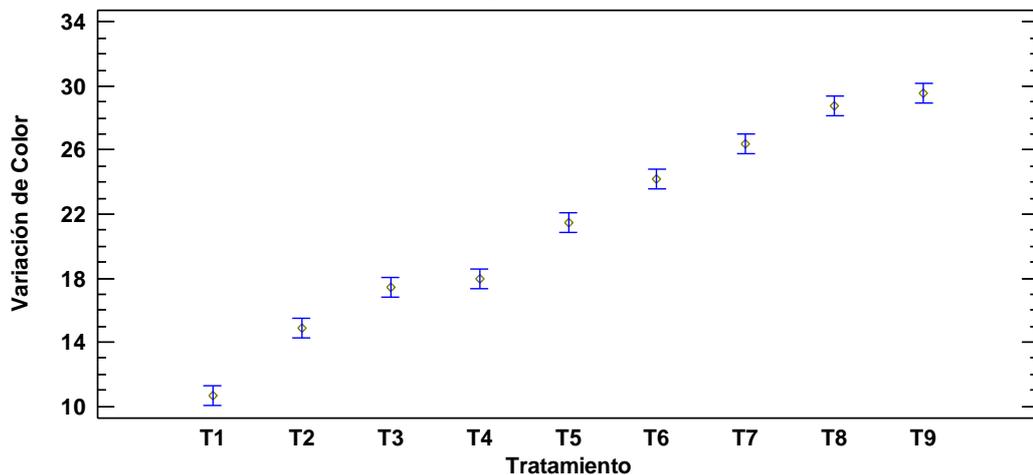
Los resultados del análisis de varianza (ANVA) para la variación de color, se muestran en el Anexo F.4; donde se observa que el valor-P del factor temperatura (A), velocidad de aire (B) y la interacción de ambos (A\*B) es menor al nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), lo cual indica que existe diferencia estadísticamente significativa; por tanto, se acepta la hipótesis alterna ( $H_A$ ).

De acuerdo al diagrama de Pareto presentada en la Figura 23; el factor temperatura (A) tiene efecto altamente significativo, seguido del factor velocidad de aire (B) y por último de la interacción de temperatura por velocidad de aire (A\*B); esta última presenta efecto ligeramente significativo.



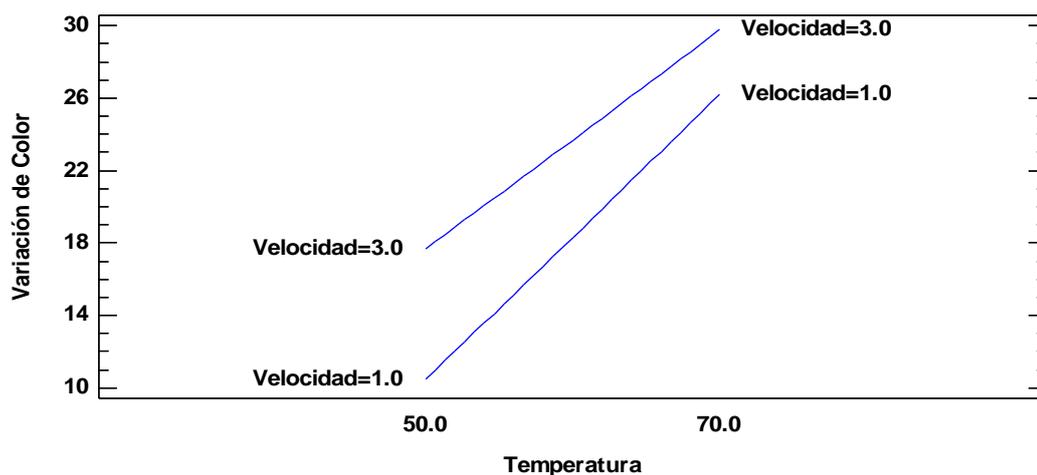
**Figura 23.** Diagrama de Pareto para la coordenada cromática  $b^*$  del color

En la Figura 24 se presenta la gráfica de medias de comparación múltiple efectuada a través de Test de LSD; donde se observa que el intervalo de confianza de los tratamientos T3 (50 °C y 3 m/s) y T4 (60 °C y 1 m/s); T8 (70 °C y 2 m/s) y T9 (70 °C y 3 m/s) se traslapan, lo cual indica que no existe diferencia significativa entre sus medias; mientras el intervalo de confianza de los tratamientos T1 (50 °C y 1 m/s), T2 (50 °C y 2 m/s), T5 (60 °C y 2 m/s), T6 (60 °C y 3 m/s) y T7 (70 °C y 1 m/s) no se traslapan, la misma indica que existe diferencia significativa entre sus medias y de las demás.



**Figura 24.** Gráfica de medias para la variación total del color

En la Figura 25 se muestra la gráfica de interacción de efectos principales de temperatura y velocidad de aire para la variación total del color de la harina de papa Amarilla Tumbay, donde se observa que a medida se incrementa la temperatura y velocidad de aire, la variación de color aumenta; es decir, el producto en estudio pierde su color característico (amarillo) a condiciones severas de secado.



**Figura 25.** Gráfica de interacción para la variación total del color

Rojas y Duran (2011), reportaron valores de la variación total del color de la harina de papa criolla (pulpa amarilla) obtenida a través de secado por convección, que fue de 23.31 a las condiciones de secado de 1 m/s de velocidad de aire y 50 °C de temperatura de secado; mientras en la presente investigación, a estas mismas condiciones de secado se obtuvo un valor distinto de dicha variación, que fue 10.63, ello indica que las alteraciones de color en la presente investigación fueron en menor proporción. Las diferencias se atribuyen, además, de las condiciones de secado; a la morfología del producto y a las condiciones en que han sido cultivadas (manejo del cultivo, madurez en la cosecha, piso altitudinal y otros) (Gould, 1999). No se encontraron otros estudios donde analicen el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado en la variación del color de la harina de tubérculos con las mismas y/o similares características al de la presente investigación (tubérculos de pulpa amarilla). Por lo tanto, no es posible hacer una comparación de valores de variación de color de la harina obtenida de otros tubérculos donde no predomina el color amarillo en la pulpa.

Por otro lado, Ren y Chen (1998); Saydi y Hatamipour (2012) indicaron que la variación del color en los productos generalmente se debe al pardeamiento durante el secado, que depende en gran medida de la temperatura y la velocidad de aire de secado; dicho pardeamiento aumenta con el aumento de estas. Asimismo, Enríquez y Mejía (2012) indicaron que, cuando las temperaturas son menores y las velocidades de aire mayores, existe una mayor variación de color. López (2006) indica que a mayor velocidad de aire existe una mayor degradación del color.

La variación total del color de un producto alimenticio durante el secado es una indicación de cuán severas son las condiciones de secado y está relacionada con su composición y/o concentración de pigmento. Las menos alteraciones de color en las muestras se pueden vincular a una menor descomposición de los carotenoides y/o una menor formación de pigmentos indeseables como resultado de condiciones de secado leves (Topuz, Feng y Kushad, 2009). En la presente investigación se obtuvo una variación menor a las condiciones de secado de 1 m/s de velocidad de aire y 50°C de temperatura de secado, lo cual se considera como las condiciones óptimas de secado para la obtención de la harina de papa Amarilla Tumbay con una variación mínima del color con respecto a su color característico.

## CONCLUSIONES

La temperatura de secado tiene efecto significativo en la capacidad de retención de agua, porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento, más no la velocidad de aire ni la interacción de ambas, excepto este último que tuvo efecto ligeramente significativo en el poder de hinchamiento; donde a las condiciones de secado de 50 °C de temperatura y 1 m/s de velocidad de aire, se obtuvo la mejor capacidad de retención de agua (9.49 ml H<sub>2</sub>O/g muestra); a 70 °C de temperatura y 3 m/s de velocidad de aire, el mayor porcentaje de solubilidad (20.85%) y a 50 °C de temperatura y 2 m/s de velocidad de aire, el mejor poder de hinchamiento (11.52 g gel/g muestra).

Existe efecto significativo de la temperatura, velocidad de aire y la interacción de temperatura por velocidad de aire en el color de la harina de papa Amarilla Tumbay; donde la menor variación de la coordenada L\* (Luminosidad), coordenada cromática b\* (azul/amarillo) y la menor variación total del color ( $\Delta E^*$ ) con respecto al color de la papa fresca, se reportó a 50 °C de temperatura y 1 m/s de velocidad de aire; mientras para la coordenada cromática a\* (rojo/verde) se reportó a 50°C y 2 m/s de velocidad de aire.

## RECOMENDACIONES

En la operación de molienda se recomienda utilizar un molino de laboratorio para fines experimentales; debido a que, con el molino tradicional (manual) se obtiene harina con una granulometría no muy uniforme.

En la determinación del porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento, muchos autores realizan con un gramo de harina en 10 ml de agua; sin embargo esta cantidad de harina podría absorber la totalidad de agua empleada al momento de someter a baño de agua (65°C), dependiendo de su composición (amilosa y amilopectina). Para ello, se debe realizar unas pruebas experimentales antes de establecer la cantidad de muestra con la que se va a determinar el porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento. Se recomienda iniciar con 0.3 gramos en 10 ml de agua.

## **SUGERENCIAS**

Realizar el análisis proximal y determinar la viscosidad de la harina de papa Amarilla Tumbay, debido a que estas propiedades son alteradas cuando el producto es sometido a un proceso de secado.

Estudiar el efecto de los métodos de pretratamiento en las propiedades funcionales y el color de la harina de papa Amarilla Tumbay. Ya que el pretratamiento es uno de los factores que es considerada, además de los factores estudiados en la presente investigación, como el principal responsable de la alteración de dichas propiedades y el color.

Realizar una comparación del efecto de los métodos de secado en las propiedades funcionales y el color de la harina de papa Amarilla Tumbay. Debido a que los diferentes métodos de secado tienen principios de funcionamiento muy distinto; y por ende, influyen de manera distinta (mayor o menor influencia) en dichas propiedades y el color.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeleke, R.O. y Odedeji, J.O. (2010). Functional Properties of Wheat and Sweet Potato Flour Blends. *Pakistan Journal of Nutrition*. 9, 535-538.
- Aguilera, Y. (2009). Harinas de leguminosas deshidratadas: caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecno-funcionales (Tesis Doctoral). Universidad autónoma de Madrid. Madrid, España.
- Ahmed, M., Akter, S. y Eun, J. (2010). Peeling, drying temperatures, and sulphite-treatment affect physicochemical properties and nutritional quality of sweet potato flour. *Food Chemistry*. 121, 112–118. DOI:10.1111/j.1365-2621.2010.02191.x
- Akoy, E.O.M. (2014). Effect of Drying Temperature on Some Quality Attributes of Mango Slices. *International Journal of Innovation and Scientific Research*. 4, 91-99.
- Alonso, J., García, K. Z., González, K. y Benavente, M. (2014). Producción de harina de papa para puré instantáneo. *Revista científica Nexo*, 27, 99-114
- Atzingen, V., Pinto, M. y Silva, M.E. (2005). Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten. *Ciencia Tecnología Alimentaria*, 4, 319-323.
- Avila, I.M. y Silva, C.L. (1999). Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Journal of Food Engineering*. 39, 161- 166.
- Badui, S. (1990). *Química de los alimentos*. 2da edición. México: Alhambra Mexicana. S.A.
- Bello, J. (2000). *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos*. España: Díaz de Santos
- Boatella, J., Codony, R. y López, P. (2004). *Química y bioquímica de los alimentos II*. 1ra edición. España: Universitat de Barcelona.
- Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D. y Lilley, A.E.V. (1998). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*. 3ra edición. España: Acribia S.A.

- Cárdenas, M. (2012). Proceso de obtención de la harina de (*Solanum Tuberosum*), de variedad Canchan (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Cengel, Y. y Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. 4ta edición. México: McGraw-Hill.
- Centro Internacional de la Papa (2006). La Papa tesoro de los Andes. De la agricultura a la cultura. 2da Edición.
- Christiansen, J. A. (1989). La Papa nuestra de cada día. Perú: Pachamama.
- Codex (2007). Cereales, Legumbres, Leguminosas y Productos Proteínicos Vegetales. 1ra. Edición. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a1392s.pdf>
- Contreras, C. (2006). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2013). Manual de procesamiento de papa criolla. Colombia.
- Dangpium, N., Ruttarattanamongko, K., Chittrakorn, S. y Weerawatanakorn, M. (2015). Effect of drying conditions on properties, pigments and antioxidant activity retentions of pretreated orange and purple-fleshed sweet potato flours. *J Food Sci Technol*. 53, 1811–1822.
- De Pelli, T., Lovito, R., Maenza, S., Derossi, A. y Severini, C. (2008). Study on operating conditions of orange drying processing: comparison between conventional and combined treatment. *Journal of food processing and preservation*, 32, 751-769
- Dehnad, D., Jafari, S.M. y Afrasiabi, M., (2016). Influence of drying on functional properties of food biopolymers: from traditional to novel dehydration techniques, *Trends in Food Science y Technology*. 57, 116-131.
- Díaz, F. (2009). Estudio del proceso de secado de Nopal en una columna de charolas (Tesis de Maetría). Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. México.

- Enrriquez, M.D. y Mejía, P.I. (2012). Efecto de la temperatura y velocidad de aire en la capacidad de rehidratación, diferencia neta de color y diferencia sensorial de harina precocida de Oca (*Oxalis tuberosa*) variedad Flava mediante el método superficie respuesta (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Ferreira, V. L. (1981). *Princípios e aplicações da colorimetria em alimentos*. 2da edición. Brasil: Campinas, SP: ITAL.
- Fito, P., Andrés, A., Barát, J. y Abors, A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3ra edición. México: CIESA.
- Gould, W. A. (1999). *Potato production, processing and technology*. Estados Unidos: CTI PUBLICATIONS, INC.
- Guha, M., Ali, S.Z. y Bhattacharya, S. (1997). Twin-screw extrusion of rice flour without a die: effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *Journal of Food Engineering*, 32, 251-267.
- Gutiérrez, H. y Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. 2da edición. México: McGraw-Hill S.A.
- Hincapié, G.A., Omaña, M.M., Hincapié, C.A., Arias, Z. y Vélez, L.M. (2010). Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa. *Revista lasallista de investigación*. 7, 85-93.
- Hoover, R y Ratnayake, W. (2002). Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chemistry* 78(4), 489-498.
- Hulton, C.W. y Campbell, A.M. (1981). Water and fat absorption. In Protein functionality in foods, Cherry, J. P., Eds. *American Chemical Society*, Washington, DC, 177-200.
- Ibarz, A. y Barbosa, G. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. 1ra edición. España: Mundi Prensa.

- Jayaraman, K. S., Das, D. K. y Babu, N. (1990). Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower, *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 47–60. [DOI:org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01058.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01058.x)
- Karam, M.C., Petit, J., Zimmer, D., Djantou, E.B. y Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders. *Journal of Food Engineering*. 188, 32 – 49. [DOI: org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001)
- Kusumayanti, H., Handayani, N. A. y Santosa, H. (2015). Swelling power and water solubility of cassava and sweet potatoes flour. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 164-167. [DOI: org/10.1016/j.proenv.2015.01.025](https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.025)
- Leach, H. W., McCowen, L. D. y Schoch, T. J. (1959). Structure of the starch granule. *Cereal Chemistry*, 36, 534–544.
- López, A. (2006). La temperatura de transición vítrea en el secado convectivo con condiciones variables de ajo (*Allium sativum* L.) (Tesis de Master). Instituto Politécnico Nacional. México.
- Lv, W. y Zhang, M. (2017). Main Current Vegetable Drying Technology I: Hot Airflow Drying and Related Combination Drying. En Min, Z., Bhash, B. y Zhongxiang, F. (eds). *Handbook of Drying of Vegetables and Vegetable Products* (pp. 3-24). Nueva York: Taylor y Francis Group.
- Malumba, P., Massaux, C., Deroanne, C., Masimango, T. y Béra, F. (2009). Influence of drying temperature on functional properties of wet-milled starch granules. *Carbohydrate Polymers*, 75, 299–306. [DOI: 10.1016 / j.carbpol.2008.07.027](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.07.027)
- Manrique, J. A. (2005). *Transferencia de calor. 2da edición*. México: Alfaomega.
- Martines, E. y Lira, L. (2010). Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. *Centro nacional de Meteorología*, 01-06.
- McWatters, K.H. (1983). Physical and sensory characteristics of Akara processed from cowpea paste and Nigerian cowpea flour. *Cereal Chem.* 60, 333-336.

- Ministerio de Agricultura y Riego (2011). La papa nuestra de cada día. Perú.  
Recuperado de <http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/LA-PAPA-NUESTRA-DE-CADA-DIA.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria y Centro Internacional de la Papa (2017). Catálogo de variedades de papa nativa. Perú.
- Moreyra, L. y Garcia I. (1977). Elaboración de Harinas Precocidas. Lima, Perú.
- Muñoz, M. (2014). Composición y aportes nutricionales de la papa. *Revista agrícola: Inia Remehue*, 36-37.
- Njintang, Y.N. y Mbofung, C.M.F. (2006). Effect of precooking time and drying temperatura on the physico-chemical characteristics and in-vitro carbohydrate digestibility of taro flour. *LWT-FoodScienceandTechnology*. 39, 684–691.
- Noor, I., Mokhtar, H., Rafiqul, K. y Pramod, M. (2012). Understanding Color Models: A Review. *Journal of Science and Technology*, 02, 265-275.
- Olatunde, G. O., Henshaw, F. O., Idowu, M.A. y Tomlins, K. (2016). Quality attributes of sweet potato flour as influenced by variety, pretreatment and drying method. *Food Science y Nutrition published*, 4, 623-635. doi: 10.1002/fsn3.325
- Olsen, E.D. (1986). Métodos ópticos de análisis. España: Reverté.
- Otles, S. (2008). Handbook of food analysis instruments. CRC Press.
- Peña, E.F. (2017). Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de llave (Puno) (Tesis de Grado). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Pinho, B. H., Machado, M. I. F; Furlong, E. B. (2001). Propriedades físicoquímicas das massas de pizza semiprontas e sua relação com o desenvolvimento de bolores e leveduras. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*. 60 (1), 35-41.
- Ren, G. y Chen, F. (1998). Drying of American ginseng panax quinquefolium roots by microwave-hot air combination. *Journal of Food Engineering*, 35, 433–443.

- Rettig, M. y Hen, A. (2014). El color en los alimentos: un criterio de calidad medible. *Agro Sur*. 2, 39-48.
- Rojas, R. y Duran, D. (2011). Efecto del secado por microondas sobre el color de la papa criolla (*Solanum phureja*). *Ciencia y tecnología alimentaria*, 09, 104-114.
- Sablani, S. S. y Mujumdar, A. S. (2006). Drying of Potato, Sweet Potato, and Other Roots. *Handbook of Industrial Drying* (pp. 647-646), 3ra Edición, Nueva York, NY: Taylor y Francis Grup,
- Sandoval, E., Fernández, A., Alcalá, L.A. y Ospina, B. (2006). Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. *Ingeniería y Desarrollo* 19, 17-30.
- Saydi, D. y Hatamipour, M.S. (2012). Analysis of the Effective Parameters on Potato Powder Quality Produced by a Spray Dryer. *Iranian Journal of Chemical Engineering*. 9, 55-62.
- Serpa, A. M., Vásquez, D.C., Castrillón, D.C. e Hincapié, G.A. (2015). Comparación de dos técnicas de deshidratación de guayaba-pera (*Psidium guajava* L.) sobre los efectos del contenido de vitamina C y el comportamiento de las propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria. *Revista lasallista de investigación*. 12, 10-20.
- Singh, R. P. y Heldman, D. R. (2001). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. 2da edición. España: Acribia S.A.
- Terranova (1995). *Enciclopedia Agropecuaria Terranova: producción agrícola*. Colombia: Terranova editores, Ltda. Santa Fé de Bogotá D. C.
- Topuz, A., Feng, H. y Kushad, M. (2009). The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *Food Science and Technology*. 42, 1667–1673. doi:10.1016/j.lwt.2009.05.014.
- Valero, A. (2012). *Principios de color y holopintura*. España: Editorial Club Universitario.
- Van Hal, M. (2000). Quality of sweetpotato flour during processing and storage, *Food Reviews International*. 16, 1-37. [DOI.org/10.1081/FRI-100100280](https://doi.org/10.1081/FRI-100100280)

- Vega, A., Zura, L., Lemus, R., Martínez, J., Quispe, I. y Di, K. (2015). Influence of drying temperature on dietary fibre, rehydration properties, texture and microstructure of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Food Scientists y Technologists*. 52, 2304–2311.
- Wu, D. y Sun, D. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control. *Trends in Food Science y Technology*. 29, 5-20.
- X-Rite (2002). Guía para entender la comunicación del color.
- Xue, K. (2004). Optimización del secado por aire caliente de pera (variedad blanquilla) (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Ysla, B. A. (2012). Efecto de temperatura de secado por convección sobre valor nutricional y propiedades funcionales en harina de Mashua (*Trupaeolum tuberosum*) (Tesis de Grado). Univerisad Cesar Vallejo. Trujillo, Perú.

## ANEXO

### ANEXO A. Constancia de traducción del resumen a la lengua quechua

# CONSTANCIA

*EL QUE SUSCRIBE EL PRESENTE DOCUMENTO, Prof. Edwin Daniel FÉLIX BENITES, hace constar lo siguiente:*

*Se ha traducido el resumen del trabajo de investigación titulado: Efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en las propiedades funcionales y el color de la harina de papa amarilla Tumbay (Solanum goniocalyx), del español a lengua quechua. Dicho trabajo corresponde al señor Rosel Ricra Tito, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas.*

*Se emite la presente constancia a petición verbal del interesado.*

Andahuaylas, 07 de agosto de 2019

  
.....  
Prof. Edwin Daniel FÉLIX BENITES  
Traductor e intérprete

## ANEXO B. Memoria de cálculo

### ANEXO B.1. Cálculo de la diferencia de las coordenadas $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ( $\Delta L^*$ , $\Delta a^*$ y $\Delta b^*$ )

La diferencia de la luminosidad ( $L^*$ ), coordenada cromática  $a^*$  y la coordenada cromática  $b^*$  se calculó restando al valor obtenido en la papa Amarilla Tumbay el valor obtenido en la harina de la misma. Las ecuaciones se muestran a continuación:

$$\Delta L^* = L^*_{o} - L^*_{f} \quad (1)$$

Donde:

$L^*_{o}$ : Luminosidad de la papa Amarilla Tumbay

$L^*_{f}$ : Luminosidad de la harina de papa Amarilla Tumbay

$$\Delta a^* = a^*_{o} - a^*_{f} \quad (2)$$

Donde:

$a^*_{o}$ : coordenada cromática de papa Amarilla Tumbay

$a^*_{f}$ : coordenada cromática de la harina de papa Amarilla Tumbay

$$\Delta b^* = b^*_{o} - b^*_{f} \quad (3)$$

Donde:

$b^*_{o}$ : coordenada cromática de papa Amarilla Tumbay

$b^*_{f}$ : coordenada cromática de la harina de papa Amarilla Tumbay

### ANEXO B.2. Cálculo de la variación total del color ( $\Delta E^*$ )

La variación total del color se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta E^* = [\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]^{0.5} \quad (4)$$

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo de variación total del color para el tratamiento T1 (50 °C y 1 m/s).

- ✓ Los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de papa fresca son el promedio de las tres repeticiones; los cuales son:  $L^* = 78.46$ ,  $a^* = 7.01$  y  $b^* = 79.10$ .
- ✓ Las diferencias de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  con la ecuación 1, 2 y 3, respectivamente:

$$\Delta L^* = 78.46 - 71.23 = 7.23$$

$$\Delta a^* = 7.01 - 6.32 = 0.69$$

$$\Delta b^* = 79.10 - 70.41 = 8.69$$

✓ La variación del color se calculó con la ecuación 4:

$$\Delta E^* = [7.23^2 + 0.69^2 + 8.69^2]^{0.5} = 11.33$$

### **ANEXO B.3. Cálculo de solución desinfectante**

La concentración de solución desinfectante se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$x = \frac{\text{ppm} * V}{\%s * F_0} \quad (5)$$

Donde:

$x$  : Cantidad de desinfectante deseada

ppm : Concentración de desinfectante que se necesita en el agua

$V$  : Cantidad de agua

%s : Concentración del desinfectante

$F_0$  : Factor de dilución (10000)

Se preparó una solución desinfectante de 10 litros con una concentración de 45 ppm. Se utilizó hipoclorito de sodio de la marca Clorox con 5.25% de concentración.

$$x = \frac{45 \text{ ppm} * 1000 \text{ ml H}_2\text{O}}{5.25\% * 10000}$$

$x = 8.6$  ml de hipoclorito de sodio para 10 litros de agua

**ANEXO C. Resultados de la capacidad de retención de agua, porcentaje de solubilidad y poder de hinchamiento**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidad de aire (m/s)</b>	<b>CRA (g H<sub>2</sub>O/g muestra)</b>	<b>S (%)</b>	<b>PH (g gel/g muestra)</b>
50	1	9.93	16.28	11.74
60	2	6.70	19.25	9.74
70	3	5.26	21.11	8.78
60	1	7.19	17.92	10.61
50	3	8.14	17.10	10.92
50	2	8.87	15.73	11.89
60	3	7.13	19.43	10.27
70	1	5.01	19.86	8.60
70	2	4.89	20.54	9.06
50	1	9.15	15.87	11.26
60	2	7.42	18.54	10.18
70	3	5.51	20.61	8.83
60	1	6.53	18.28	9.99
50	3	8.36	17.02	10.81
50	2	7.30	15.78	11.54
60	3	6.68	19.20	10.26
70	1	5.34	19.33	8.77
70	2	6.02	19.59	9.53
50	1	9.39	15.36	11.08
60	2	9.10	17.73	9.93
70	3	5.91	20.83	8.59
60	1	7.33	17.74	10.51
50	3	7.96	17.33	11.11
50	2	8.15	16.53	11.13
60	3	7.48	18.39	10.52
70	1	5.95	19.27	8.59
70	2	4.94	19.84	8.63

**ANEXO D. Resultados de las coordenadas L\* a\* b\* y variación total del color**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidad de aire (m/s)</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>ΔE</b>
Papa Amarilla Tumbay		78.46	6.67	79.78	
Papa Amarilla Tumbay		78.15	7.54	79.16	
Papa Amarilla Tumbay		79.23	6.81	78.37	
<b>70</b>	<b>2</b>	64.29	3.89	54.77	28.33
<b>60</b>	<b>3</b>	63.17	6.48	61.12	23.61
<b>70</b>	<b>3</b>	64.68	4.44	54.03	28.73
<b>50</b>	<b>3</b>	67.98	6.23	65.56	17.14
<b>50</b>	<b>2</b>	69.36	7.28	67.13	15.04
<b>50</b>	<b>1</b>	71.23	6.32	70.41	11.33
<b>70</b>	<b>1</b>	60.25	4.08	59.46	26.94
<b>60</b>	<b>1</b>	66.45	5.19	66.3	17.65
<b>60</b>	<b>2</b>	64.17	5.05	63.38	21.34
<b>70</b>	<b>2</b>	63.49	3.4	54.07	29.39
<b>60</b>	<b>3</b>	62.11	6.04	61.36	24.15
<b>70</b>	<b>3</b>	62.52	3.84	53.93	29.96
<b>50</b>	<b>3</b>	66.67	5.98	66.88	17.01
<b>50</b>	<b>2</b>	68.8	6.54	67.46	15.14
<b>50</b>	<b>1</b>	72.45	6.45	71.6	9.63
<b>70</b>	<b>1</b>	62.03	4.34	60.38	25.05
<b>60</b>	<b>1</b>	66.95	4.93	65.5	17.94
<b>60</b>	<b>2</b>	64.67	5.13	63.57	20.86
<b>70</b>	<b>2</b>	64.09	4.37	54.59	28.54
<b>60</b>	<b>3</b>	62.17	5.9	60.5	24.75
<b>70</b>	<b>3</b>	63.32	3.04	53.51	30.00
<b>50</b>	<b>3</b>	66.69	7.11	65.27	18.16
<b>50</b>	<b>2</b>	68.59	7.06	68.66	14.37
<b>50</b>	<b>1</b>	70.76	6.56	71.35	10.94
<b>70</b>	<b>1</b>	60.43	4.15	58.89	27.24
<b>60</b>	<b>1</b>	66.55	4.73	65.45	18.26
<b>60</b>	<b>2</b>	63.48	5.35	62.61	22.34

**ANEXO E. Resultados del análisis de varianza (ANVA) para las propiedades funcionales**

**ANEXO E.1. Análisis de varianza (ANVA) para capacidad de retención de agua**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	45.3424	2	22.6712	59.66	0.0000
B:velocidad de aire	0.678467	2	0.339233	0.89	0.4269
AB	4.08258	4	1.02064	2.69	0.0646
Error	6.8402	18	0.380011		
Total (corregido)	56.9437	26			

\* $\alpha = 0.05$

**ANEXO E.2. Análisis de varianza (ANVA) para porcentaje de solubilidad**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	64.606	2	32.303	161.30	0.0000
B:velocidad de aire	7.13469	2	3.56734	17.81	0.0001
AB	0.346422	4	0.0866056	0.43	0.7834
Error	3.60473	18	0.200263		
Total (corregido)	75.6918	26			

\* $\alpha = 0.05$

**ANEXO E.3. Análisis de varianza (ANVA) para poder de hinchamiento**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	27.3188	2	13.6594	177.08	0.0000
B:velocidad de aire	0.137985	2	0.0689926	0.89	0.4263
AB	1.02237	4	0.255593	3.31	0.0336
Error	1.38847	18	0.077137		
Total (corregido)	29.8676	26			

\* $\alpha = 0.05$

**ANEXO F. Resultados del análisis de varianza (ANVA) para las coordenadas cromáticas y la variación del color**

**ANEXO F.1. Análisis de varianza (ANVA) para L\***

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	197.95	2	98.9749	194.05	0.0000
B:velocidad de aire	18.1365	2	9.06827	17.78	0.0001
AB	53.5215	4	13.3804	26.23	0.0000
Error	9.18067	18	0.510037		
Total (corregido)	278.789	26			

\* $\alpha = 0.05$

**ANEXO F.2. Análisis de varianza (ANVA) para a\***

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	32.0643	2	16.0321	101.13	0.0000
B:velocidad de aire	0.298467	2	0.149233	0.94	0.4085
AB	2.91284	4	0.728211	4.59	0.0099
Error	2.85347	18	0.158526		
Total (corregido)	38.1291	26			

\* $\alpha = 0.05$

**ANEXO F.3. Análisis de varianza (ANVA) para b\***

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	689.346	2	344.673	958.96	0.0000
B:velocidad de aire	130.363	2	65.1816	181.35	0.0000
AB	5.16236	4	1.29059	3.59	0.0254
Error	6.4696	18	0.359422		
Total (corregido)	831.341	26			

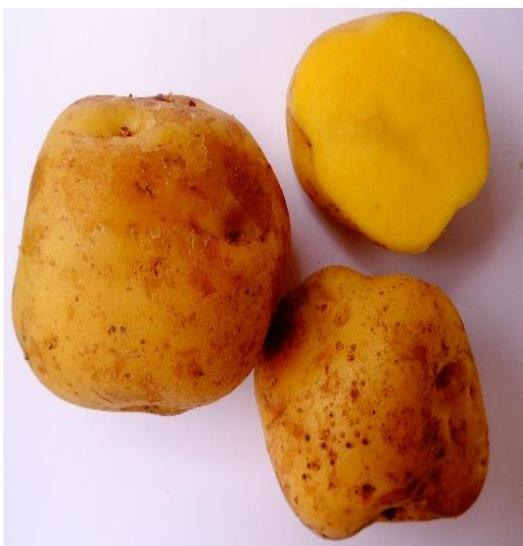
\* $\alpha = 0.05$

#### ANEXO F.4. Análisis de varianza (ANVA) para la variación total del color

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	873.923	2	436.961	855.04	0.0000
B:velocidad de aire	133.603	2	66.8015	130.72	0.0000
AB	11.6878	4	2.92196	5.72	0.0038
Error	9.19873	18	0.511041		
Total (corregido)	1028.41	26			

\* $\alpha = 0.05$

#### ANEXO G. Fotografías del desarrollo experimental



Fotografía 1. Papa Amarilla Tumbay



Fotografía 2. Equipo de secado con corriente de aire caliente (convección)



Fotografía 3. Harina de papa Amarilla Tumbay obtenida a 50 °C y 1 m/s



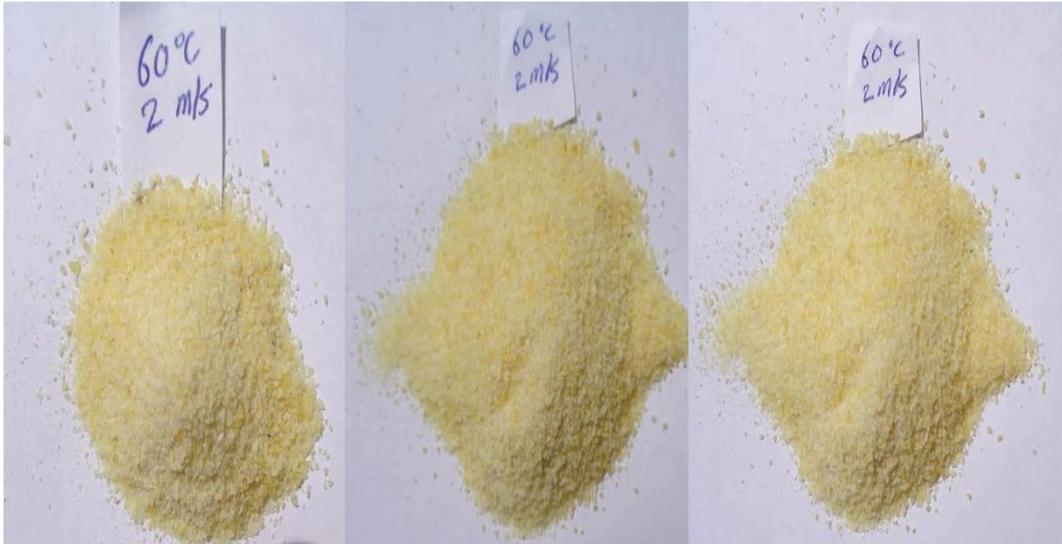
Fotografía 4. Harina de papa Amarilla Tumbay obtenida a 50 °C y 2 m/s



Fotografía 5. Harina de papa Amarilla Tumbay obtenida a 50 °C y 3 m/s



Fotografía 6. Harina de papa Amarilla Tumbay obtenida a 60 °C y 1 m/s



Fotografía 7. Harina de papa Amarilla Tumbay obtenida a 60 °C y 2 m/s



Fotografía 8. Harina de papa Amarilla Tumaby obtenida a 60 °C y 3 m/s



Fotografía 9. Harina de papa Amarilla Tumbay obtenida a 70 °C y 1 m/s



Fotografía 10. Harina de papa Amarilla Tumbay obtenida a 70 °C y 2 m/s



Fotografía 11. Harina de papa Amarilla Tumbay obtenida a 70 °C y 3 m/s

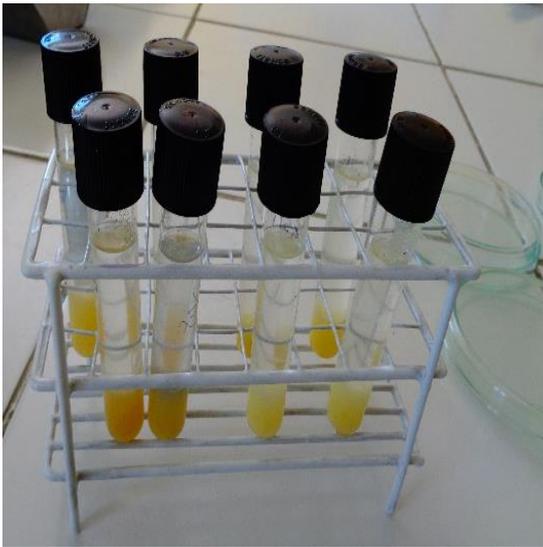
**ANEXO H. Fotografías de la determinación de las propiedades funcionales y el color**



Fotografía 1. Muestras en baño de agua.



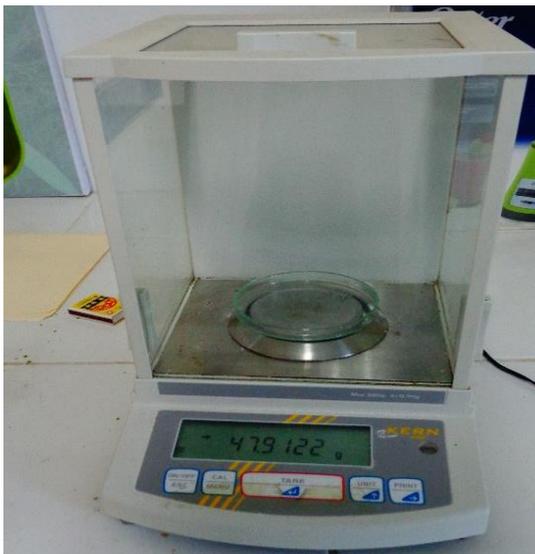
Fotografía 2. Centrifugación de las muestras.



Fotografía 3. Harina sedimentada.



Fotografía 4. Pesado de las muestras sedimentadas.



Fotografía 5. Pesado de las muestras solubles.



Fotografía 6. Determinación del color en espacios  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

### **ANEXO I. Matriz de consistencia**

Proyecto	EFECTO DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO POR CONVECCIÓN EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y EL COLOR DE LA HARINA DE PAPA AMARILLA TUMBAY ( <i>Solanum goniocalyx</i> )										
	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Valor escal ar	Diseño o método	Técnica	Instrumento
General	¿Cuál es el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en las propiedades funcionales y el color de la harina de papa Amarilla Tumbay?	Determinar el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en las propiedades funcionales y el color de la harina de papa Amarilla Tumbay	La temperatura y velocidad de aire de secado tienen efecto significativo en las propiedades funcionales y el color de la harina de papa Amarilla Tumbay.	<b>Independiente</b> Temperatura  Velocidad de aire	Es una propiedad que se percibe como nuestra respuesta fisiológica a lo que es caliente o frío Es la rapidez de transmisión de energía requerida para calentar el agua contenida en el material y transportar la humedad saliente del material hacia el exterior del secador	Física	Sensación de calor	°C	Determinación directa	Instrumental	Termómetro
						Física	Rapidez de transmisión de energía	m/s	Determinación directa		
Específico	¿Cuál es el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en las propiedades funcionales (CRA, %S y PH) de la harina de papa Amarilla Tumbay?	Determinar el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en las propiedades funcionales (CRA, S y PH) de la harina de papa Amarilla Tumbay.	La temperatura y velocidad de aire de secado por convección tienen efecto significativo en las propiedades funcionales (CRA, %S y PH) de la harina de papa Amarilla Tumbay.	<b>Dependiente</b> Propiedades funcionales	Es cualquier propiedad fisicoquímica de los polímeros que afecta y modifica algunas características de un alimento y que contribuye a la calidad final del producto	Capacidad de Retención de Agua	Cantidad de agua retenida	ml/g	Experimental	Instrumental- Cálculo indirecto	
						Solubilidad	Capacidad de disolución	%			
						Poder de Hinchamiento	Cantidad de agua absorbida	g/g			
	¿Cuál es el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en el color de la harina de papa Amarilla Tumbay?	Determinar el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en el color de la harina de papa Amarilla Tumbay.	La temperatura y velocidad de aire de secado por convección tienen efecto significativo en el color de la harina de papa Amarilla Tumbay.	<b>Dependiente</b> Color	El color es una propiedad de la materia directamente relacionada con el espectro de la luz	Color	Pardeamiento del color	L*a*b*	Experimental	Colorimetría	Colorímetro