

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE OBTENCIÓN
DE PALILLO (*Curcuma longa* Linneo) EN POLVO EN LA
PROVINCIA DE SAN MARTÍN”**

PRESENTADO POR:

MARITZA DEL PILAR PHILCO BALVÍN

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

Tarapoto – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE
OBTENCIÓN DE PALILLO (*Curcuma longa* Linneo), EN POLVO
EN LA PROVINCIA DE SAN MARTÍN”**

TESIS

**PRESENTADO POR:
Maritza Del Pilar Philco Balvín**

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

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE EL SIGUENTE JURADO:

Ing. M.Sc. Epifanio Efraín Martínez Mena

PRESIDENTE

Ing. Dr. Euler Navarro Pinedo

SECRETARIO

Ing. Nelson García Garay

MIEMBRO

Ing. Dr. Mari Luz Medina Vivanco.

ASESOR

Tarapoto - Perú

2017.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: Philco Balvín Maritza del Pilar	
Código de alumno : 91-289	Teléfono: #938175798
Correo electrónico : maritza.del.pilar.pbalvin@hotmail.com DNI: 01134465	

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: Ingeniería Agroindustrial
Escuela Profesional de: Ingeniería Agroindustrial

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título : "Determinación de parámetros óptimos de obtención de palillo (<i>Corchorus longus</i> Linneo) en polvo en la provincia de San Martín"
Año de publicación: 2017

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

--

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado por la Biblioteca central o especializada

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

28 / 11 / 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO
UNIDAD DE BIBLIOTECA CENTRAL



Prof. Alicia Rodríguez Chávez
JEFE DE LA UNIDAD DE BIBLIOTECA CENTRAL

Firma de Unidad de Biblioteca

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

A Dios, por ser; mi amigo fiel y el guía;
que nunca me abandona.

A mi mamá y papá: Clementina Herminda Balvín Povich, Segundo Justiniano Philco Gonzales por darme la vida; el amor y cariño por siempre por su constante e invaluable apoyo, paciencia, confianza, comprensión y aliento constante, he logrado realizarme como profesional.

A mis hijos: Steven Enrique Ramírez Philco y Roy David Ramírez Philco, son la razón de mi existir y el aliento permanente de superación profesional y familiar, para consolidarme como guía, en su vida diaria, por ser mis incentivos y la fortaleza en todo momento.

A mis hermanos: Elena Adelaida Philco Balvín, Andrés Segundo Justiniano Philco Balvín Carlos Eduardo Philco Balvín, Sandra Giovanna por su colaboración, su eterna confianza y aliento desinteresado en todo momento.

A mi esposo Enrique Ramírez Del Águila, por su amor y confianza en todo momento de nuestras vidas junto a su esposa Maritza del Pilar Philco Balvín de Ramírez.

AGRADECIMIENTO

A los señores docentes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, por la excelente formación académica que he recibido durante mi permanencia en el claustro universitario.

Un merecido reconocimiento a la Ing. M.Sc. Dra. Mari Luz Medina Vivanco, por el asesoramiento incondicional durante el desarrollo del presente trabajo de investigación de tesis, así como el constante apoyo brindado en mi formación profesional y las revisiones prestadas.

Al Ing. M.Sc. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada, por la asesoría y por el apoyo brindado incondicionalmente durante la ejecución del presente trabajo de Tesis.

Al Ing. M.Sc. Milton Vásquez Ruiz, por las sugerencias en la ejecución y término de la Tesis en la Universidad Nacional de San Martín.

Al Ing. Epifanio Martínez Mena, por su permanencia y sugerencias en la ejecución y culminación de la Tesis en la Universidad Nacional de San Martín.

Al Ing. Euler Navarro Pinedo, por sus opiniones y sugerencias en la finalización de la Tesis en la Universidad Nacional de San Martín.

Al Ing. Nelson García Garay, por su permanencia en el término de la ejecución de la Tesis en la Universidad Nacional de San Martín.

Al Ing. M.Sc. Wilson Ernesto Santander Ruiz, por sus sugerencias y opiniones con respecto a la ejecución y término de la Tesis.

A la Técnica Sra. Dolly Flores del Laboratorio de ANACOMPA y el Sr. Guido, Saavedra, del Laboratorio de TEPANAL, por el apoyo con equipos y materiales facilitados durante la ejecución del presente trabajo de investigación de Tesis.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
	RESUMEN	
	ABSTRACT	
1.1.	Objetivo general.....	2
1.2.	Objetivos específicos:	2
II.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1.	El palillo o cúrcuma (<i>Cúrcuma longa linneo</i>).....	3
2.1.1.	Origen y distribución.....	4
2.1.2.	Descripción botánica.....	4
2.1.3.	Morfología.....	5
2.1.3.1.	Rizomas	5
2.1.3.2.	Las hojas	6
2.1.3.3.	Las flores	6
2.1.3.4.	El fruto	7
2.1.4.	Variedades.....	7
2.1.5.	Localización y producción.....	9
2.1.6.	Composición química y actividad biológica del palillo	9
2.1.7.	Cultivo.....	11
2.1.7.1.	Cosecha y postcosecha.....	12
2.1.8.	El palillo en la industria alimentaria.....	13
2.1.9.	Potencialidades industriales del palillo.....	14
2.1.9.1.	Aceites esenciales	14
2.1.9.2.	Harina de palillo.....	15
2.1.10.	Usos y propiedades del palillo	15
2.1.11.	Obtención de harina de palillo.	188
2.2.	Pelado en vegetales.....	19
2.3.	Proceso de deshidratación.....	222
2.3.1.	Transferencia de materia y calor.....	233
2.3.2.	Pruebas de secado.....	233
2.3.3.	Secado por aire caliente	23
2.3.4.	Difusión de humedad.....	244

2.3.5.	Curvas de secado.....	244
2.3.6.	Velocidad de secado.....	266
2.3.6.1.	Periodo de velocidad de secado.....	277
2.3.6.2.	Contenido critico de humedad y período de velocidad decreciente.¡Error! Marcador no definido.	
2.3.6.2.	Analisis de color.....¡Error! Marcador no definido.	
2.4.	Molienda	30
2.5.	Tamizado	30
2.5.1.	Análisis granulométrico.....	311
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	333
3.1.	Lugar de ejecución.....	333
3.2.	Materia prima e insumos	333
3.2.1.	Materia prima.....	333
3.3.	Equipos y materiales de laboratorio	333
3.3.1.	Equipos.....	333
3.3.2.	Materiales.....	344
3.3.3.	Reactivos.....	355
3.4.	Metodología experimental para el deshidratado de palillo.	366
3.4.1.	Análisis para decidir la mejor concentración y tiempo de pelado químico de rizoma de palillo.....	366
3.4.2.	Análisis para decidir el mejor espesor de rodajas y temperatura de secado en el rizoma de palillo.....	377
3.4.3.	Descripción de las operaciones del proceso	399
a).	Materia prima.....	399
b).	Clasificación y selección.....	399
c).	Lavado	399
d).	Pelado químico.....	399
e).	Enjuagado y escurrido.....	39
f).	Picado	40
g).	Secado	40
h).	Molienda	40
i).	Tamizado	40

j).	Envasado	411
3.5.	Métodos de control.	411
3.5.1.	En el rizoma de palillo fresco.	4 ^{vi}
3.5.1.1.	Caracterización biométrica del rizoma de palillo.	411
3.5.1.2.	Análisis físico químico.....	411
3.5.2.	En el proceso de deshidratación de las rodajas rizoma de palillo.	422
3.5.2.1.	Determinación de la variable color de palillo	422
3.5.2.2.	Control de peso:.....	433
3.5.2.3.	Determinación de velocidad de secado:	433
3.5.2.4.	Determinación de la difusividad:	433
3.5.2.5.	Análisis proximal:	444
3.6.	Optimización para el pelado químico.	444
3.7.	Análisis granulométrico.....	444
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	466
4.1.	Del rizoma de palillo.....	466
4.1.1.	Caracterizaciones biométricas de rizomas de palillo.	466
4.1.2.	Pelado químico.....	477
4.1.3.	Análisis proximal de rizoma fresco de palillo.	50
4.2.1.	Medición de color.....	51
4.2.2.	Resultados de secado	58
4.2.3.	Velocidad de secado.....	61
4.2.4.	Análisis estadístico del secado de palillo durante 5 horas y 10 horas.	63
4.2.5.	Difusividad.....	65
4.2.6.	Análisis proximal de rizoma de palillo en polvo.	68
4.2.7.	Análisis de granulometría.....	69
4.2.	Balance de materia en el secado de rizomas de palillo.....	70
V.	CONCLUSIONES	73
VI.	RECOMENDACIONES	755
VII.	BIBLIOGRAFÍA	766
VIII.	ANEXOS.....	833

Índice de cuadros

Cuadro 1. Composición química por cada 100 g de rizoma fresco de palillo.	9
Cuadro 2. Condiciones para el pelado químico de algunas frutas y hortalizas.	22
Cuadro 3. Variables independientes codificadas y naturales usadas para la generación del diseño experimental para el pelado químico.	36
Cuadro 4. Variables independientes codificadas y naturales usadas para la generación del diseño experimental para la pérdida de humedad a 5 y 10 horas en el secado de palillo.	37
Cuadro 5. Características biométricas de rizomas de palillo.	46
Cuadro 6. Análisis proximal en 100 gramos de rizoma de palillo fresco.	50
Cuadro 7. Valores de difusividad en el secado de rodajas de palillo.	68
Cuadro 8. Análisis proximal en 100 gramos de harina de rizomas de palillo. .	68
Cuadro 9. Análisis proximal de la cúrcuma en polvo por IIBI.	69
Cuadro 10. Distribución porcentual del tamaño de partículas de palillo.	69

Índice de figuras

Figura 1. Planta del palillo.....	3
Figura 2. Rizomas de palillo.....	5
Figura 3. Las hojas de palillo	6
Figura 4. Las flores de palillo.....	7
Figura 5. Principales curcuminoides presentes en el palillo.....	11
Figura 6. Diagrama de flujo para la obtención de harina de palillo.....	18
Figura 7. Equipo para la determinación de la velocidad de secado.....	23
Figura 6. Diagrama de flujo para la obtención de harina de palillo.....	23
Figura 8. Curva de velocidad de secado.	26
Figura 9. Curva de cinética de secado.	27
Figura 10. Espacio de color CIELab.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11. Diagrama de flujo de deshidratado del rizoma del palillo.	38
Figura 12. Rizomas de palillo fresco.....	45
Figura 13. Superficie de respuesta para determinar el porcentaje de pelado químico en el rizoma de palillo.	48
Figura 14. Superficie de respuesta para determinar la presencia de puntas oscuras durante el pelado químico del rizoma de palillo. ...	49
Figura 15. Fotografía de los nueve tratamientos evaluados por duplicado para el pelado químico de rizoma de palillo.....	49
Figura 16. Variación de la luminosidad (L) en función al tiempo para las rodajas de palillo a 2 mm y tres temperaturas de secado.....	52
Figura 17. Variación de la luminosidad (L) en función al tiempo para las rodajas de palillo a 3 mm y tres temperaturas de secado.....	52
Figura 18. Variación de la luminosidad (L) en función al tiempo para las rodajas de palillo a 4 mm y tres temperaturas de secado.....	53
Figura 19. Variación de la cromaticidad (a^*) en función al tiempo para rodajas de palillo a 2 mm y tres temperaturas de secado.....	54
Figura 20. Variación de la cromaticidad (a^*) en función al tiempo para rodajas de palillo a 3 mm y tres temperaturas de secado.....	54

Figura 21. Variación de la cromaticidad (a^*) en función al tiempo para rodajas de palillo a 4 mm y tres temperaturas de secado.....	55
Figura 22. Variación de la cromaticidad (b^*) en función al tiempo para rodajas a 2 mm y tres temperaturas de secado.....	56
Figura 23. Variación de la cromaticidad (b^*) en función al tiempo para rodajas a 3 mm y tres temperaturas de secado.....	56
Figura 24. Variación de la cromaticidad (b^*) en función al tiempo para rodajas a 4 mm y tres temperaturas de secado.....	57
Figura 25. Efecto a 2 mm de espesor de las rodajas de palillo, sobre la cinética de secado para tres temperaturas a velocidad constante de aire 1.2 m/s.....	58
Figura 26. Efecto a 3 mm de espesor de las rodajas de palillo, sobre la cinética de secado para tres temperaturas a velocidad constante de aire 1.2 m/s.....	59
Figura 27. Efecto a 4 mm de espesor de las rodajas de palillo, sobre la cinética de secado para tres temperaturas a velocidad constante de aire 1.2 m/s.....	59
Figura 28. Curvas de velocidad de secado de rodajas de palillo de 2 mm y tres temperaturas de secado a velocidad de aire constante de 1,2 m/s.....	61
Figura 29. Curvas de velocidad de secado de rodajas de palillo de 3 mm y tres temperaturas de secado a velocidad de aire constante de 1,2 m/s.....	61
Figura 30. Curvas de velocidad de secado de rodajas de palillo de 4 mm y tres temperaturas de secado a velocidad de aire constante de 1,2 m/s.....	62
Figura 31. Superficie respuestas: Pérdida de humedad en función de las temperaturas (40, 50 y 60°C) y espesores de rodajas de palillo (2, 3 y 4 mm) durante 5 horas.....	64
Figura 32. Superficie respuestas: Pérdida de humedad en función de las temperaturas (40, 50 y 60°C) y espesores de rodajas de palillo (2, 3 y 4 mm durante 10 horas.....	65

Figura 33. Comportamiento de la difusividad en el secado de rodajas de palillo a espesor de 2 mm y temperaturas de (40, 50 y 60°C).	66
Figura 34. Comportamiento de la difusividad en el secado de rodajas de palillo a espesor de 3 mm y temperaturas de (40, 50 y 60°C).	67
Figura 35. Comportamiento de la difusividad en el secado de rodajas de palillo a espesor de 4 mm y temperaturas de (40, 50 y 60°C).	67
Figura 36. Comportamiento de la harina de palillo en función a % retenido acumulado y % acumulado que pasa en los tamices.....	70
Figura 37. Balance de materia en la deshidratación de rizoma de palillo.....	72

Índice de anexos

Anexo 1. Secador de flujo de aire caliente.....	83
Anexo 2. Resultados de la evaluación de pelado químico.	84
Anexo 3. Análisis de varianza para la variable repuesta puntas oscuras	84
Anexo 4. Análisis de varianza para porcentaje de pelado de rizoma de palillo.	85
Anexo 5. Análisis de varianza para la pérdida de humedad durante 5 horas.	85
Anexo 6. Análisis de varianza para la pérdida de humedad durante 10 horas.	86
Anexo 7. Secado de rizomas de palillo en rodajas a 2 mm de espesor y 40 °C (T1).	86
Anexo 8. Secado de palillo en rodajas a 2 mm de espesor y 50 °C (T2).	87
Anexo 9. Secado de palillo en rodajas a 2 mm de espesor y 60 °C (T3).	88
Anexo 10. Secado de palillo en rodajas a 3 mm de espesor y 40 °C (T4).	89
Anexo 11. Secado de palillo en rodajas a 3 mm de espesor y 50 °C (T5).	90
Anexo 12. Secado de palillo en rodajas a 3 mm de espesor y 60 °C (T6).	91
Anexo 13. Secado de palillo en rodajas a 4 mm de espesor y 40 °C (T7).	92
Anexo 14. Secado de palillo en rodajas a 4 mm de espesor y 50 °C (T8).	93
Anexo 15. Secado de palillo en rodajas a 4 mm de espesor y 60 °C (T9).	94
Anexo 16. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 2 mm de espesor y 40 °C (T1).	95
Anexo 17. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 2 mm de espesor y 50 °C (T2).	96
Anexo 18. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 2 mm de espesor y 60 °C (T3).	96
Anexo 19. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 3 mm de espesor y 40 °C (T4).	97
Anexo 20. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 3 mm de espesor y 50 °C (T5).	97

Anexo 21. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 3 mm de espesor y 60 °C (T6).....	98
Anexo 22. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 4 mm de espesor y 40 °C (T7).....	98
Anexo 23. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 4 mm de espesor y 50 °C (T8).....	99
Anexo 24. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 4 mm de espesor y 60 °C (T9).....	99
Anexo 25. Producción de (<i>Curcuma longa</i> Linneo) por año.....	1099

AGRADECIMIENTO

A los señores docentes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, por la excelente formación académica que he recibido durante mi permanencia en el claustro universitario.

Un merecido reconocimiento a la Ing. M.Sc. Dra. Mari Luz Medina Vivanco, por el asesoramiento incondicional durante el desarrollo del presente trabajo de investigación de tesis, así como el constante apoyo brindado en mi formación profesional y las revisiones prestadas.

Al Ing. M.Sc. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada, por la asesoría y por el apoyo brindado incondicionalmente durante la ejecución del presente trabajo de Tesis.

Al Ing. M.Sc. Milton Vásquez Ruiz, por las sugerencias en la ejecución y término de la Tesis en la Universidad Nacional de San Martín.

Al Ing. Epifanio Martínez Mena, por su permanencia y sugerencias en la ejecución y culminación de la Tesis en la Universidad Nacional de San Martín.

Al Ing. Euler Navarro Pinedo, por sus opiniones y sugerencias en la finalización de la Tesis en la Universidad Nacional de San Martín.

Al Ing. Nelson García Garay, por su permanencia en el término de la ejecución de la Tesis en la Universidad Nacional de San Martín.

Al Ing. M.Sc. Wilson Ernesto Santander Ruiz, por sus sugerencias y opiniones con respecto a la ejecución y término de la Tesis.

A la Técnica Sra. Dolly Flores del Laboratorio de ANACOMPA y el Sr. Guido, Saavedra, del Laboratorio de TEPANAL, por el apoyo con equipos y materiales facilitados durante la ejecución del presente trabajo de investigación de Tesis.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló con la finalidad de establecer los parámetros tecnológicos para el secado de palillo (*Curcuma longa* Linneo) por flujo de aire caliente. El material utilizado fue la variedad Cúrcuma longa, procedente del distrito de San Antonio de Cumbaza, provincia de San Martín, departamento de San Martín. Los rizomas fueron caracterizados, para lo cual se determinaron: longitud promedio 5.92 cm., diámetro longitudinal 1.57 mm., peso promedio por unidad 45.3 g.; el análisis fisicoquímico reportó un porcentaje de humedad 83.80%, proteína 2.71%, grasa 0.10%, fibra 0.83%, carbohidratos 10.45%, ceniza 2.11%. El flujo de operaciones para la deshidratación de rizomas de palillo se estableció de la siguiente manera: Selección de la materia prima, lavado, pelado químico, enjuagado/escurrido, picado, secado, molienda/tamizado y envasado.

El trabajo se desarrolló en dos etapas: la primera etapa consistió en evaluar el pelado químico del rizoma de palillo, sometiéndose a concentraciones de NaOH de 4, 5 y 6% y a tiempos de inmersión de 10, 15 y 20 segundos, a una temperatura de 100°C y la segunda etapa que consistió en el secado de palillo en donde se evaluaron el espesor de las rodajas (2, 3 y 4 mm) y temperaturas de secado (40, 50 y 60°C) a velocidad de aire constante de 1.2 m/s, siendo la variable respuesta humedad y color. El mejor tratamiento fue determinado en el pelado químico y cantidad de puntas negras, siendo el tratamiento con (6% de concentración de NaOH y tiempo de 20 segundos de inmersión a temperatura de 100°C) presentó valores óptimos de 98% de eficiencia de pelado.

Para el deshidratado de rodajas de rizomas de palillo, se utilizó flujo de aire caliente, concluyéndose que el tratamiento tres (espesor de 2mm., temperatura de 60°C y tiempo de 10 horas), es el más óptimo, con humedad crítica promedio de 0,016 kg H₂O/kg sólido seco y a velocidad constante de aire caliente de 1.2 m/s, de igual manera la difusividad térmica óptima obtenida fue 22.33x10⁻⁹ m²/s.

Palabra claves: Curcuma (Especia), condimentos, palillo y palillo en polvo, secado, colorantes, rizomas.

ABSTRACT

The present research was developed with the purpose of establishing the technological parameters for the drying of the stick (*Curcuma longa* L.) by hot air flow. The material used was variety *Curcuma longa*, coming from the district of San Antonio de Cumbaza, province of San Martín, department of San Martín. The rhizomes were characterized, for which they were determined: average length 5.92 cm., longitudinal diameter 1.57 mm., average weight per unit 45.3 g.; the physicochemical analysis reported a percentage of humidity 83.80%, protein 2.71%, fat 0.10%, fiber 0.83%, carbohydrates 10.45%, ash 2.11%.

The flow of operations for dehydration of stick rhizomes was established as follows: raw material selection, washing, chemical peeling, rinsing/draining, mincing, drying, grinding/sieving and packaging.

The work was carried out in two stages: the first stage consisted in evaluating the chemical peeling of the rhizome of stick, undergoing NaOH concentrations of 4, 5 y 6% and immersion times of 10, 15 and 20 seconds, at a temperature of 100°C and the second stage that consisted in the drying of the stick, where they were evaluated the thickness of the slices (2, 3 and 4 mm) and drying temperatures (40, 50 and 60°C) at constant air velocity of 1.2 m/s, the variable being humidity and color response.

The best treatment was determined in the chemical peeling and the number of black tips, being the treatment with (6% of NaOH concentration and time of 20 seconds of immersion at a temperature of 100°C) presented optimal values of 98% efficiency of peeling.

For the dehydration of slices of sticks rhizomes, hot air flow was used, it is concluded that the treatment three (thickness of 2 mm, temperature of 60°C and time of 10 hours), is the most optimal, with average critical humidity of 0.016 kg H₂O /Kg dry solids and at a constant hot air velocity of 1.2 m/s, likewise the optimum thermal diffusivity obtained was of $22.33 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{ s}$.

Keywords: *Curcuma* (especia), seasoning, stick dried, coloring, rhizome.

I. INTRODUCCIÓN.

El palillo (*Cúrcuma longa* Lineo) conocido también como cúrcuma, azafrán cimarrón, guisador, es una planta de origen asiático, pero se ha expandido a Latinoamérica donde es apreciado por su uso culinario y medicinal y en nuestra amazonia se ha naturalizado creciendo semi silvestremente en selva alta y baja respectivamente. Su producción está relegada y postergada por otros cultivos tales como el arroz, café, cacao, etc. La poca importancia de su cultivo y usos está en un proceso de eminente extinción; pero gracias a investigaciones se está empezando a revalorar, tal es el caso que su frontera agrícola se está viendo incrementada (Proyecto Cúrcuma-San Martín, 2008).

La raíz o rizoma que usualmente se consume tiene un sabor ardiente, ligeramente amargo, siendo esto uno de los principales ingredientes del curry, un ingrediente culinario de la India. Estudios recientes de la cúrcuma indican que es rico en bisdemetoxicurcumina, un antioxidante que puede combatir la acumulación de proteínas que se estacionan en el cerebro combatiendo el temido Alzheimer. Además los Machigengas (Tribu de la selva peruana) mencionan que la cúrcuma es un buen diurético y combate la constipación (gripe); actúa como antiinflamatorio de las vías respiratorias, articulaciones y vías urinarias y es útil en casos de prostatitis (SelvaNet, 2016). Por las cualidades que posee, su industrialización debe destinarse a la elaboración de palillo en polvo y darle valor agregado tanto en la industria farmacéutica como alimentaria por sus bondades medicinales y culinarias.

La cúrcuma es un cultivo presente esporádicamente en la región de San Martín. Algunos agricultores de la zona tienen parcelas muy pequeñas en sus huertas y cultivan el palillo principalmente para su uso personal como guisador, o para vender en el mercado local. Hasta ahora no hay aprovechamiento comercial a grandes escalas de este cultivo, poca inversión para desarrollarlo. Pero existe ahora una voluntad muy fuerte de desarrollar este cultivo alternativo porque aparece de hecho mucho más rentable que los otros cultivos tradicionales a los cuales se dedican los productores de la zona. La selva y en particular el Valle del Río Sisa presentan condiciones edafoclimáticas ideales

para el cultivo de la cúrcuma o palillo. Pero los conocimientos de los agricultores sobre el cultivo y sobre todo el manejo de la post-cosecha son muy limitados (Proyecto Cúrcuma-San Martín, 2008).

Uno de las formas de aprovechar mejor esta especie natural es mediante el secado, que consiste en retirar por evaporación el agua de la superficie del producto y traspasarla al aire circundante. La rapidez de este proceso depende del aire (la velocidad con la que éste circule alrededor del producto, su grado de sequedad, etc.) y de las características del producto (su composición, su contenido de humedad, el tamaño de las partículas, etc.). A medida que el aire se calienta, su humedad relativa decae y por lo tanto, puede absorber más humedad, deshidratándose más rápido el producto (Geankoplis, 1998).

Con el objeto de contribuir con el conocimiento del palillo se hace necesario realizar investigaciones tanto en el área agrícola y agroindustrial y de este modo lograr un desarrollo integral y el presente trabajo se centrará en deshidratar el palillo por el método de flujo de aire caliente, conservando así sus características sensoriales y nutritivas. Por las consideraciones antes mencionadas, el presente trabajo de investigación plantea los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general.

Determinar los parámetros óptimos para obtener palillo (*Cúrcuma longa*, *Lineo*), en polvo, en la provincia de San Martín.

1.2. Objetivos específicos:

- Determinar el mejor tratamiento de pelado químico en los rizomas de palillo.
- Estudiar el comportamiento del secado, velocidad de secado en las rodajas de rizomas de palillo.
- Determinar el análisis fisicoquímico y granulométrico, además realizar el análisis colorimétrico del palillo en polvo.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. El palillo o cúrcuma (*Cúrcuma longa* Linneo).

El palillo también conocido como cúrcuma, es una de las principales plantas medicinales usada hace 4,000 años en la India. Planta perenne de un metro de altura que se desarrolla en los climas tropicales, pertenece a la familia de las cingiberáceas. Tiene tubérculos gruesos, cilíndricos o elipsoides, amarillo-naranja por dentro. Inflorescencia cilíndrica. Tiene olor aromático semejante al kion (jengibre) y un sabor ardiente, ligeramente amargo. Posee flores de color blanco amarillento y sus raíces (rizomas) que pueden tener un grosor de 5 a 8 cm, son pardas y muy arrugadas, si las abrimos en su interior presentan un color amarillo anaranjado intenso y son usadas como un producto alimenticio y medicinal; este rizoma es picante, fresco y amargo; se usa seco y en polvo y es recetado solamente a personas mayores de 18 años. La cúrcuma es uno de los principales ingredientes del curry, un colorante culinario de la India, constituido además por pimienta, coriandro, canela, jengibre, clavo de olor, cardamomo, pimienta, comino y nuez moscada; este curry debe tomarse con moderación pues puede provocar efectos irritativos sobre la mucosa gástrica (Medicinas naturistas, 2016). En la figura N° 1 se observa la planta del palillo o cúrcuma.



Figura 1. Planta del palillo.

Fuente: Medicinas naturistas (2016).

2.1.1. Origen y distribución.

Origen. El palillo es una planta de origen asiático muy usada comúnmente como una especia en la cultura asiática. Es originaria de la isla de Java, aunque extendida a otros países tropicales de Asia, de América Central y de las Antillas. La cúrcuma se ha cultivado desde hace más de dos mil años en la India, China y Oriente Medio y en la actualidad se cultiva en todas las regiones tropicales del mundo (Díaz, 2002).

Distribución geográfica. Proviene del Asia pero se ha expandido a Latinoamérica donde es apreciado por su uso en el arte culinario y medicinal. Se ha naturalizado en la Amazonía creciendo semi-silvestre en selva alta y baja respectivamente (Judd *et al.* 2002).

En selva alta crece con mayor profusión debido a la fertilidad del suelo, los rizomas son más grandes y poseen mayor contenido de ácido turmérico. En la selva baja crece en terrenos arcillo-limosos (playas) que fueron abonadas durante la etapa de creciente de los ríos, dejando habilitado el terreno durante la vaciante o cuando baja sus aguas (Judd *et al.* 2002).

2.1.2. Descripción botánica.

Según García *et al.* (2001), la clasificación botánica del palillo es como sigue:

Clase : Monocotiledóneas.

Orden : Scitamineas.

Familia : ZINGIBERACEAE.

Género : Cúrcuma.

Especie : longa.

Nombre científico : *Cúrcuma longa*, Linneo.

Nombres comunes : Azafrán cimarrón; yuquilla (Cuba), turmérico, jengibrillo (Puerto Rico), jengibre dulce, camotillo, yuquilla (Panamá), azafrán de la India, jengibre amárelo (Portugués), palillo cholón, palillo chuncho, guisador, palillo (Perú).

2.1.3. Morfología

2.1.3.1. Rizomas

El tallo subterráneo es un rizoma muy ramificado del que salen numerosas raicillas de color anaranjado con o varios rizomas secundarios en forma de dedos de 5 a 8 cm. llamados dedos o cúrcuma larga. La inflorescencia es una espiga densa de 10 a 15 cm. de largo, flores pequeñas, amarillo pálidas, corola en embudo que tiene 3 lóbulos y fruto capsular (García *et al.* 2001). En la figura N° 2 se observa los rizomas de palillo.

Los rizomas contienen curcumina, una sustancia colorante que forma cristales anaranjados y posee aceites esenciales de olor picante. El rizoma que una vez preparado tiene aroma que recuerda al jengibre; sabor ardiente y amargo. (León, 2000). Cuando los rizomas están aún frescos tiene color amarillo pálido y tornan marrón rojizo al secarse. Al corte transversal presentan una sección de color anaranjado uniforme con puntos amarillo claro. Nuestra saliva toma color amarillo cuando entra en contacto con el producto palillo en polvo (Sing, 1997).



Figura 2. Rizomas de palillo.

Fuente: León (2000).

2.1.3.2. Las hojas

Hojas anchas, largamente pecioladas, ovales o lanceoladas, color verde claro (Herbotecnia, 2016).

Fuera del rizoma (que es un tallo subterráneo), la cúrcuma prácticamente no tiene tallo aéreo. Las hojas y el tallo floral salen desde abajo constituyendo una planta herbácea, erguida, con seis a ocho hojas de largo pecíolo (20 - 30 cm) y de forma lanceolada, con la base estrecha y terminadas en punta, de unos 30 - 40 cm. de largo por unos 20 cm. de ancho. Son de colores verde claro, lampiños en ambas caras (Cabieses, 1993). En la figura N° 3 se observa las hojas del palillo.



Figura 3. Las hojas de palillo

Fuente: Herbotecnia (2016).

2.1.3.3. Las flores

El vástago floral que es una espiga densa, de 10 - 15 centímetros de largo y unos 5 centímetros de diámetro. Las flores son de un amarillo pálido, con una corola en forma de embudo que tiene tres lóbulos con sus estambres y un ovario de tres celdas con numerosas semillas que, como hemos dicho, son estériles. Las flores están acompañadas por brácteas cóncavas ovales, de 3 a 4 centímetros de largo y de color verde pálido, excepto las más superiores que tienen un tinte rojizo (Cabieses, 1993). En la figura N° 4 se observa las flores de palillo.



Figura 4. Las flores de palillo.

Fuente: Montaña y Montes (2004).

2.1.3.4. El fruto

Su fruto es una baya redondeada, ligeramente achatada y arriñonado, tamaño aproximado de 7 centímetros, peso promedio 140 g, su epicarpio delgado, suave, amarillo claro en la madurez y fuertemente adherido a la pulpa carnosa, jugosa, dulzaina y cremosa. Semillas de 8-12 por fruto, de 1-1,5 cm de longitud, aplanadas, con puntuaciones blanquecinas y de sabor amargo (Vital, 2011).

2.1.4. Variedades

Existen diversos tipos de palillo. Además de la *Curcuma longa* L. (la cúrcuma propiamente dicha) existe también la *Curcuma xanthorrhiza* Roxb. (Cúrcuma de Java) y la *Curcuma zedoaria* (Christm.) Roscoe. Los neerlandeses trajeron la Cúrcuma de Java a Europa, donde también se conoce como “temul lawak”. La *Curcuma zedoaria* procede del Himalaya, donde utilizan las hojas de la planta como ensalada. Según Van Hellemont, la cúrcuma de Java es la preferente ya que esta especie tendría una mayor concentración de aceites volátiles y por tanto un mayor efecto colagógico y colerético que la *Curcuma longa*. Afirma que ésta tiene sobre todo interés culinario y la *Curcuma zedoaria* debe emplearse más para molestias gástricas. Sin embargo, los estudios muestran que la *Curcuma longa* sí tiene potentes propiedades colagógicas y coleréticas, además de una gran cantidad de otras cualidades farmacológicas que por el momento no se han observado en la cúrcuma de java (Urría, 2014).

Existen distintas variedades de palillo usadas en la gastronomía según Montaña y Montes (2004).

Madrás : El más apreciado comercialmente, color mostaza amarillento.

Alleppey : Color amarillo oscuro a anaranjado, también es el más comercial.

Haití : Color café amarillento.

Hay varias cúrcumas pero todas tienen más o menos las mismas propiedades medicinales (SelvaNet, 2016).

Las propiedades curativas son muy parecidas al jengibre, por lo mismo se puede usar la cúrcuma como el jengibre. Los indios orientales emplean la cúrcuma para condimentar sus comidas. Hay una variedad de cúrcuma que abunda en Puerto Rico, el jengibre amargo o el jengibre cimarrón y también tiene las mismas propiedades que las otras cúrcumas que crecen en la India, Madagascar, Java, China y Sudamérica. En francés esta planta se llama "Curcuma souchet" o "Safran des Indes" (SelvaNet, 2016).

La variedad de palillo que crece en el Perú es la llamada "*Cúrcuma longa*", y toma el nombre de "Palillo" y su principal cultivo es en la selva peruana, estudios recientes de esta variedad nos indica que es rica en bisdemetoxicurcumina, un anti oxidante que puede combatir la acumulación de proteínas que se estacionan en el cerebro combatiendo el temido Alzheimer. Los Machigengas (tribu de la selva peruana) dicen que la cúrcuma es un buen diurético y combate la constipación (gripe). Actúa también como anti-inflamatorio de vías respiratorias, articulaciones y vías urinarias, es útil también en casos de prostatitis. También estimula la circulación sanguínea, ellos no solo lo utilizan como medicina, saborizante y colorante gastronómico, sino también como eficaz embellecedor, ya que al untarse en la piel, le proporciona humedad y lozanía (SelvaNet, 2016).

2.1.5. Localización y producción

En el Perú se cultiva en selva alta y baja; en condición de planta silvestre, se encuentra distribuida en casi toda la selva peruana. La mayor concentración de cultivos se encuentra en los departamentos de Ayacucho, Cusco y Ucayali (Yarinacocha) (Bravo y Marbuendo, 2006). En el anexo 25 se observa los datos de producción de las zonas mencionadas por año.

Según Trigozo (2009), el 15 de mayo del año 2008 se funda la Cooperativa Agraria y de Servicios El Dorado, con un grupo de 22 productores de cúrcuma, al concluir el proyecto “Producción sostenible del palillo (Cúrcuma longa) en el Valle del Sisa (San Martín Alao, Shatoja y San José de Sisa).”, ejecutado por CAPIRONA y cofinanciado por INCAGRO y la Rabobank Foundation de Holanda. El dorado ha realizado la comercialización en cúrcuma, 3,000.00kg, en promedio, en el mercado local, siendo sus principales clientes las empresas avícolas, como Agropecuaria La Campiña.

2.1.6. Composición química y actividad biológica del palillo

En el cuadro N° 1 se observa la composición química proximal de la parte comestible (rizoma).

Cuadro 1. Composición química por cada 100 g de rizoma fresco de palillo.

Componente	Unidades	Cantidades
Valor energético	Kcal.	54
Agua	g	89.2
Proteína	g	0.4
Grasa	g	3.3
Carbohidrato	g	5.4
Fibra	g	0.7
Ceniza	g	1.1

Fuente: Ministerio de Salud - Instituto Nacional de Salud-Perú, (2009).

El palillo es rico en almidón (40 – 55%), contiene un aceite esencial (3-6%) con sesquiterpenos monocíclicos, siendo los componentes más abundantes e importantes el zingibereno y derivados oxigenados, como la S-(+)- ar-turmerona y otros (Bravo y Marbuendo, 2006).

Bravo y Marbuendo (2006) el palillo contiene aceites esenciales en forma de:

- a)** Monoterpenos tales como: 1.8- Cineol, a dosis de 87 mg/ml es acaricida, es anestésico, antihelmíntico, anticatarral, antireumático, antiséptico, candidicida, colerético, miorelajante, tricomonocida.
- b)** α - pineno: tiene propiedades antiacné, antibacterial, antiestafilocócico, como preventivo de cáncer.
- c)** α -terpineol: anti-acné, anti cancerígeno, bactericida y cicatrizante.
- d)** β -pineno: antiinflamatorio, antiséptico, antiespasmódico, candidicida.
- e)** Borneol: monoterpeno bicíclico, antibacterial, antibronquítico, hepatoprotector.
- f)** Cariofileno: analgésico, anti-acné, anticancerígeno, anti-leishmaniasico, antiespasmódico.
- g)** Curcumerol: antitumoral, anticáncer.
- h)** Sustancias fenólicas: Ácido cinámico. Se halla en el rizoma, es antibacterial, antiinflamatorio, preventivo de cáncer.

Se puede hallar los curcuminoides dicafeilmetano y cafeilferuloilmetano y aceites esenciales sesquiterpenos tales como: zingibereno. Esta especie contiene, proteína, principios amargos D-Sabineno, terpenos, turmerona, xineol, zingiberonas y resinas (Velasco y Navarro, 2013).

Los principales colorantes son curcuminoides, compuestos relacionados con diarilheptano, en cantidad variable (3-5%) pero que pueden alcanzar hasta el 8 %, siendo el compuesto mayoritario (hasta el 60%) la curcumina que es el principal constituyente activo (diferuloilmetano), acompañada de monodemetoxicurcumina, bisdemetoxicurcumina y dihidrocurcumina (Velasco y Navarro, 2013). Los principales curcuminoides presentes en el palillo se muestran en la Figura 5.

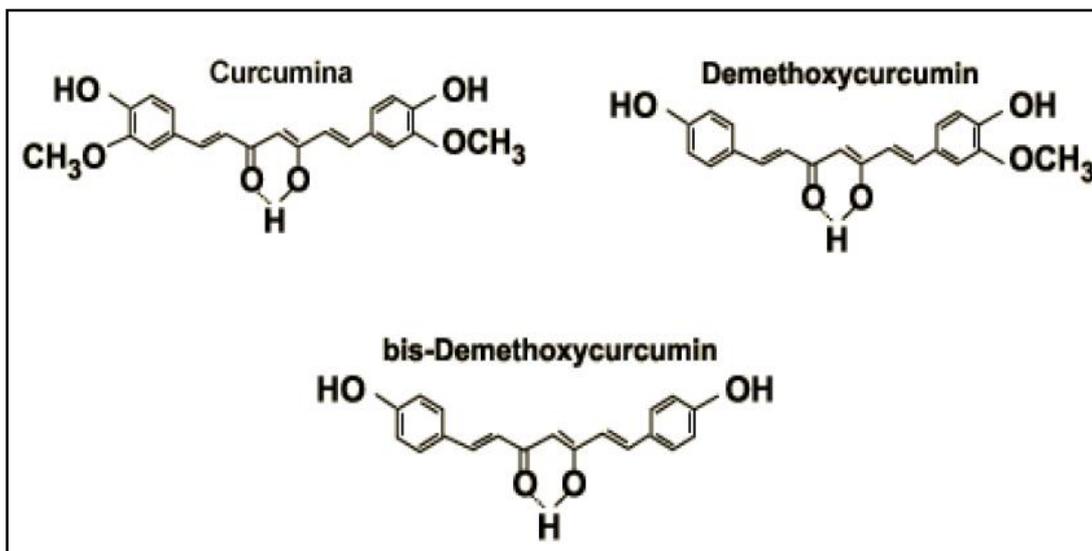


Figura 5. Principales curcuminoides presentes en el palillo.

Fuente: Velasco y Navarro (2013).

El rizoma de palillo o cúrcuma presenta también aceites volátiles en un máximo de 5%. Son estos compuestos terpenoides los que le dan el aroma característico a este rizoma. Presenta una amplia variedad de sesquiterpenos cetónicos característicos de la especie, como son la ar-turmerona (máximo de 25%), los isómeros α -turmerona (atlantona) y β -turmerona (curlona) (máximo de 30%) y zingibereno (máximo de 25%) (Ríos *et al.* 2008). También contiene cariofileno, α -curcumeno, bisaboleno y β -sesquifelandrenendreno (Ríos *et al.* 2009). Estos sesquiterpenoides son unas potentes moléculas antioxidantes, detrás de los curcuminoides (Zhao *et al.* 2010).

La ar-turmerona es la sustancia responsable de la actividad alelopática de la cúrcuma. El zingibereno es un sesquiterpenoide bisabolano, un lípido formado a partir del trans-farnesil difosfato por la zingibereno sintasa (ZIS). Este compuesto también está presente en el jengibre (Urria, 2014).

2.1.7. Cultivo

Según iiap (2016) el cultivo del palillo se realiza de la siguiente forma:

Época de siembra: En cualquier época del año.

Espaciamiento: Distanciamiento de 0,40 m x 0,30 m.

Labores de cultivo: Aplicar a los 2 meses de la siembra la siguiente fórmula de nutrientes: 66 kg de superfosfato triple de calcio, 66 kg de cloruro de potasio y 66 kg de urea por hectárea. A los 4 meses de la siembra se recomienda aplicar 200 kg de urea/ha. Mensualmente, es recomendable aplicar abono orgánico. Enemigos naturales: Se presenta frecuentemente ataque de hongos foliares (IIAP, 2016).

Propuesta de asociación de cultivos: El guisador puede sembrarse como cultivo complementario para aprovechar áreas intercaladas que los sistemas de frutales dejan libres los primeros años después de la plantación. Este puede ser el caso del sistema con pijuayo o combinación de frutales tales como: cítricos, arazá, castaña, umarí, uvilla y casho. En sistemas más intensivos puede intercalarse con jengibre y minimizar o eliminar el componente arbóreo (IIAP, 2016).

Propagación: Mediante rizomas. Se recomienda sembrar a una profundidad de 5 cm; antes de la siembra definitiva, es preferible pregerminar los rizomas, lo que ocurre en el lapso de 15 a 30 días. Para sembrar una hectárea se requiere un promedio de 300 kg de rizomas (IIAP, 2016).

2.1.7.1. Cosecha y postcosecha

Partes aprovechadas: Rizomas.

La cosecha se inicia a los 7 meses de la siembra, cuando empiezan a amarillar las hojas, pudiendo prolongarse hasta los 9 meses. El rendimiento en el Perú es de 15 t/ha. en peso fresco y de 3 a 3,75 t/ha. en peso seco (IIAP, 2016).

Manejo post-cosecha: Los rizomas se deben conservar en ambiente seco y fresco para mantenerlos en buen estado durante un mes o más (IIAP, 2016).

La postcosecha consta de los siguientes pasos (Urria, 2014):

Limpieza. Es necesario limpiar los rizomas inmediatamente y quitar las raíces y tierra adherida a ellos. Esta acción se da en el campo (Urria, 2014).

Lavado. Los rizomas se lavan con agua limpia no contaminada, para eliminarles por completo la tierra. Este puede hacerse de forma manual, poniendo los rizomas en canastos para quitarles la tierra con agua limpia o bien de manera mecánica, utilizando una máquina mezcladora eléctrica de cualquier tipo en la que se depositan los rizomas directamente en el agua y se van lavando con el movimiento (Urria, 2014).

Cortado. Es la labor de trocear los rizomas utilizando para ello una máquina especial (Urria, 2014).

Secado. Este proceso final se efectúa para eliminar la humedad del rizoma, la cual debe ser de 10 – 12 % al final del proceso. (Urria, 2014). Esta etapa puede realizarse de varias formas:

- Secado al sol: aprovechando la energía solar, se coloca en pedazos sobre superficies adecuadas para lograr un secado homogéneo. Mediante este método pierde color y baja su contenido de curcumina (Urria, 2014).
- Secado con otras fuentes de energía: se pueden deshidratar en secadores tipo SAMOA, utilizadas para el secado del “cacao”. Este procedimiento tiene la ventaja de mantener el color y porcentajes adecuados de curcumina (Urria, 2014).

2.1.8. El palillo en la industria alimentaria

El palillo es conocida en la industria alimentaria como E-100, su resina se utiliza como agente saborizante y colorante alimenticio de color anaranjado siendo el responsable de éste la curcumina, compuesto fenólico que sirve para aromatizar y dar color a mantequillas, quesos, diversas conservas, mostaza, palomitas de maíz de colores, cereales, sopas, caldos, productos cárnicos y lácteos (Benavides *et al.* 2010). La ingesta diaria recomendable no debe superar 1mg de curcumina/Kg de peso y 0,3 mg de cúrcuma por Kg de peso

(food-info.net, 2016). La FDA (Food and Drug Administration) de los Estados Unidos ha declarado la curcumina como “un producto considerado seguro” (Generally Regarded as Safe, GRAS), y aceptado como colorante alimenticio y saborizante (Grynkiewicz y Slifirski, 2012).

Igualmente se utiliza la oleorresina (Benavides *et al.* 2010); un colorante que se obtiene por extracción alcohólica (acetona, diclorometano, 1,2-dicloroetano, metanol, etanol, isopropanol y hexanos) de lípidos y aceite de los rizomas secos y molidos de la cúrcuma. Se trata de un aceite denso de color amarillo terroso, semisólido o pastoso, con un contenido entre 35-55% de curcuminoides y como máximo 25% de aceites volátiles. Las preparaciones diluidas suelen tener un color más amarillento y con un contenido del 6 al 15% de curcuminoides y no más del 10% de aceites volátiles. El producto debe ser almacenado en ambiente seco y frío (15 – 20°C) protegido de la exposición a la luz, calor y del aire (Urria, 2014).

La cúrcuma puede combinarse con el achiote (*Bixa orellana L.*), una especie arborescente de las regiones intertropicales de América, cuya semilla, conocida como annatto, se utiliza también como colorante natural rojizo amarillento, usado junto con la cúrcuma en la coloración de quesos como el cheddar, en margarina, arroz y pescado ahumado (food-info.net, 2016).

2.1.9. Potencialidades industriales del palillo

2.1.9.1. Aceites esenciales

Las esencias son mezclas de sustancias orgánicas olorosas concentradas, las cuales se encuentran presentes en algunas plantas (Domínguez, 1973). Se conocen con diferentes nombres dependiendo del país de origen, algunos de ellos son: Aceites esenciales (Francia), Aceites etéreos (Alemania) o Aceites volátiles (Países Anglosajones) (Trease y Evans, 1991).

Las esencias pueden obtenerse de plantas cultivadas o silvestres, se conocen aproximadamente 3000 tipos de esencias (aceites esenciales) de las cuales aproximadamente 300 tienen importancia comercial (Trease y Evans, 1991).

El aceite esencial de la cúrcuma longa es uno de los aceites esenciales naturales con un rendimiento 20-70 mg/kg, rico en carburos terpénicos (zingibereno, beta y delta-curcumeno, ar-curcumeno) y cetonas sesquiterpénicas (turmeronas). Arabinogalactanas (ukonanas) (Trease y Evans, 1991).

Los métodos de extracción de esencias comerciales más empleados son los siguientes (Trease y Evans, 1991):

- Extracción por expresión.
- Extracción por destilación con arrastre de Vapor.
- Extracción por macerado y enflorado.
- Extracción por medio de disolventes.

La elección del método de extracción está muy relacionada con la cantidad de esencia presente en el vegetal y con las características químicas, principalmente la sensibilidad a la temperatura (Trease y Evans, 1991).

2.1.9.2. Harina de palillo.

Para el proceso de elaboración de la harina, generalmente se utilizan dos clases de rizomas: el cúrcuma rond y el cúrcuma long, ambos producidos por la misma planta (García *et al.* 1986).

El cúrcuma rond se presenta en forma de tubérculo ovalado del tamaño de un huevo de paloma y el cúrcuma long es bastante grueso y se presenta en fragmentos más o menos cilíndricos o en forma de huso, a veces curvados y suelen medir de 3 a 7 cm. de largo por 1 o 2 cm. de diámetro (García *et al.* 1986).

2.1.10. Usos y propiedades del palillo

– Gastronomía

La Cúrcuma es una especia aromática que se emplea como ingrediente principal en la preparación del curry, que es utilizado como condimento para

realzar el color, sabor y aroma de los alimentos, su consumo aumenta la secreción de enzimas digestivas y previene los malestares estomacales (Centros de exportaciones e inversiones-Nicaragua, 2012).

– **Industria:**

Colorante: La cúrcuma contiene un principio activo llamado curcumina que se emplea como sustituto de la tartrazina (pigmento de síntesis química). La curcumina se puede obtener en polvo cristalizado o líquido soluble en agua, sus aplicaciones son en productos snack, panadería, cereales, heladería, galletería, postres, mantequillas, margarinas, quesos, yogures, confitería, bebidas gaseosas, aceites comestibles, mayonesas, mostazas y leche en polvo (Centros de exportaciones e inversiones-Nicaragua, 2012).

También se utiliza como colorante textil, pinturas, cueros, maderas, cremas, ceras, ungüentos, aceites, papelería y en raciones alimenticias para aves (Centros de exportaciones e inversiones-Nicaragua, 2012).

Belleza: Su aceite esencial es empleado como fijador y aromatizador en la fabricación de perfumes, licores y productos cosmetológicos. En algunas partes de la India, las mujeres se pintan y frotan el rostro con agua de Cúrcuma o leche con Cúrcuma para embellecer la piel y como antiséptico (Centros de exportaciones e inversiones-Nicaragua, 2012).

– **Rituales espirituales**

La cúrcuma se utiliza en muchas celebraciones de los hindúes, especialmente las novias en la boda pintaban con cúrcuma sus cuerpos. Los bebés recién nacidos también se frotan con cúrcuma en la frente para dar buena suerte (Urria, 2014).

– **Medicinal**

En la Amazonía peruana además de su uso como condimento el extracto de los rizomas se usa en el tratamiento de la hepatitis, infecciones, cólicos, dolor de muela, analgésico y antiguamente en el tratamiento del Pián (cuchi-pe o frambesia proveniente del África occidental y que se difundió en la Amazonía),

una enfermedad infecciosa, contagiosa y crónica (no venérea) que forma en la piel una pápula o una ulceración rosada, seguida de una erupción papulomatosa, seguido de adenopatías, dolor de cabeza y extremidades, fiebre moderada, causado por el *Treponema pertenue*. En el estadio terciario se presentan modificaciones destructivas en la piel y en el sistema esquelético con una evolución parecida a la sífilis, antiguamente se trataba médicamente con salvarsán, un fármaco con efectos secundarios nocivos. En la actualidad solo se observa raramente esta enfermedad en aves de corral (Ducke, 2009).

Actualmente esta planta es muy usada por la población como antiinflamatorio (para tratar a pacientes con afecciones reumáticas, por su constituyente principal que es la curcumina), como antioxidante (los rizomas frescos, por los componentes de su aceite esencial y la oleorresina). En la medicina tradicional asiática se emplea para mejorar la indigestión por comidas grasosas y mejorar los problemas de úlceras gastroduodenales; también es de aplicación tópica para los que presentan úlceras en la piel, escabiosis, antiespasmódico, antimicrobiano, antimicótico (tiña), antitrombótico, anticonceptivo, hipoglucemiante, hepatoprotector, cardioprotector frente a la doxorubicina, es estimulante del apetito y de la lactancia. Es útil, además, para tratar a pacientes con enfermedad de Alzheimer, hipertensión arterial, epilepsia, hepatitis, asma bronquial, fibrosis quística, cálculo renal, catarata, lepra y esclerodermia; reduce edemas, hematomas y aumenta el número/motilidad de espermatozoides (Velasco y Navarro, 2013).

Se preparara la infusión sumergiendo de 1 a 1,5 gramos de raíces secas en 150 ml de agua, durante 15 minutos (tomarla 2 veces al día), indicado para tratar problemas del hígado y riñón (Laffita, 2012). Previene el envejecimiento prematuro y muchas enfermedades degenerativas (diabetes mellitus, cáncer, etc.), lo que está relacionado con su propiedad antioxidante, con marcada incidencia en los órganos de la parte inferior: útero, próstata. En forma tópica, se utiliza formando una pasta para verrugas, callos (Vistel *et al.* 2003).

2.1.11. Obtención de harina de palillo.

Para el procesamiento es necesario lavar y desinfectar los rizomas para proceder a realizar el troceado y así facilitar el proceso de escaldado, para evitar el deterioro del material por pardeamiento, inhibiendo de esta manera la acción enzimática y además reducción de la contaminación por actividad microbiológica (Montaño y Montes, 2004).

Posteriormente se realizó el secado en un secador de bandejas, donde el insumo principal es el aire seco caliente, para facilitar la deshidratación del material a una temperatura promedio de 70°C de aire caliente (Montaño y Montes, 2004).

Después de obtener el rizoma seco se realizó la molienda en un molino de martillos y se pasó por el tamiz donde se busca la granulometría adecuada para el mercado. En esta etapa se obtiene la harina deseada y se procede a empacar en bolsas plásticas y a almacenar (Montaño y Montes, 2004). En la figura N° 6 se observa el diagrama de flujo para la obtención de harina de palillo.

Para el cálculo de rendimiento se tomó como base de producción una hectárea de cultivo, de la cual se obtienen en promedio 35 toneladas de rizoma. El rendimiento obtenido al finalizar el proceso fue de 8750 kilogramos de harina de cúrcuma.

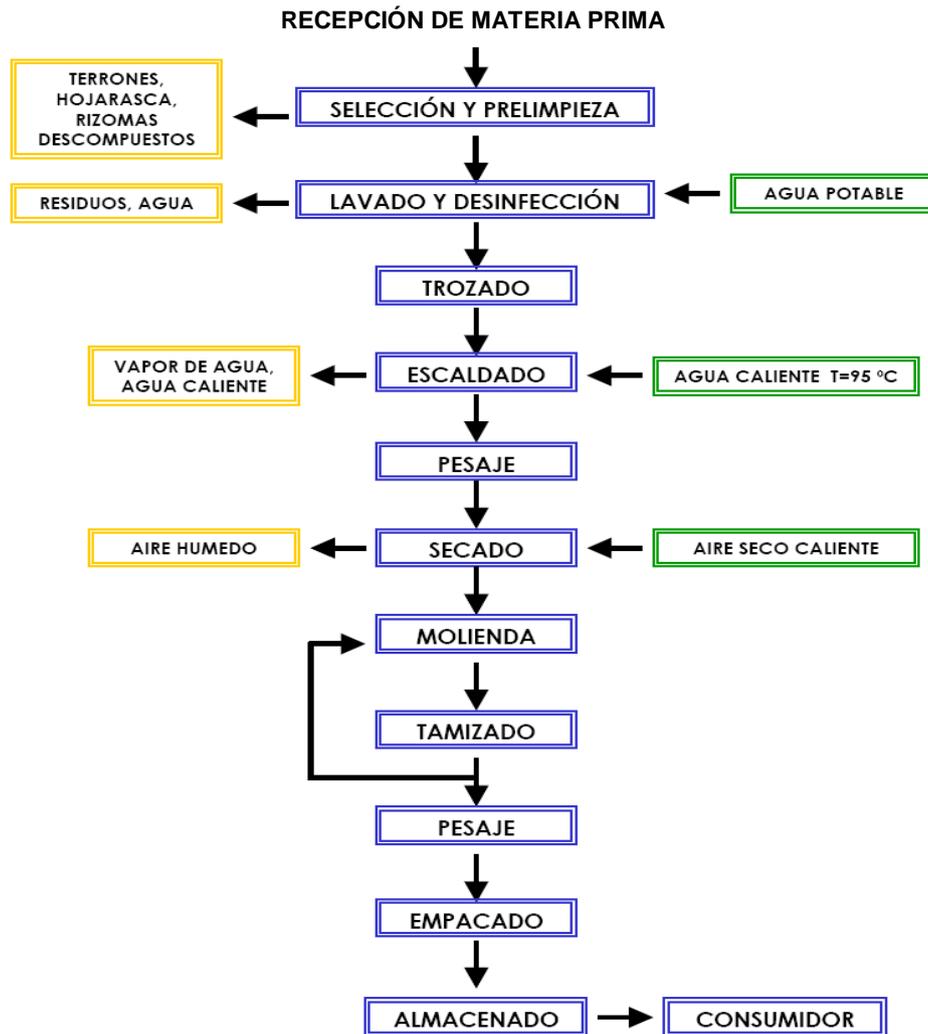


Figura 6. Diagrama de flujo para la obtención de harina de palillo.

Fuente: Montañó y Montes, (2004).

2.2. Pelado en vegetales.

Es una operación imprescindible en la elaboración de muchas frutas y verduras en la que para mejorar el aspecto del producto final se requiere la eliminación del material no comestible. El coste de esta operación se procura reducir al mínimo eliminando la menor parte posible del producto y reduciendo al máximo los gastos energéticos, de material y de mano de obra. Durante el pelado el producto no debe sufrir daños y después de éste, la superficie del mismo debe quedar limpia (Trujillo *et al.* 2008).

- Pelado al vapor: Los alimentos (por ejemplo: diversas raíces como, remolacha, zanahoria, etc.) se introducen en lotes en un recipiente a

presión que rueda a 4-6 revoluciones por minuto, al que se halla conectado un flujo de vapor a alta presión (1.500 kPa). La rotación del recipiente asegura que el alimento en cuestión contacte con el vapor por todas sus caras durante un tiempo preestablecido que depende del tipo de alimento. La elevada temperatura del vapor calienta rápidamente la superficie del producto (15-30 segundos) pero su baja conductividad térmica impide que este penetre hacia el interior por lo que éste no se cuece y por tanto, su color y textura no sufren ninguna modificación. Al producirse una súbita caída de la presión se libera vapor bajo la piel y la superficie del alimento se despegas. La mayor parte del material salta al liberarse el vapor y la ducha de agua sólo se precisa para liberar los restos de piel que permanecen adheridos. Este tipo de peladoras están alcanzando una gran difusión no sólo por su capacidad de producción (hasta 4.500 kg/hora), sino por su bajo consumo en agua, porque las pérdidas de peso que provocan al producto son muy escasas y por el buen aspecto de los alimentos pelados por este método. Además el ciclo de pelado puede controlarse automáticamente y los efluentes que se generan son de mayor concentración, lo que hace más fácil su eliminación (Piagentini, 1999).

- Pelado a cuchillo: En este sistema de pelado la piel de la fruta y verdura se retira al presionar estas en rotación contra unas cuchillas fijas. En otros casos son unas cuchillas rotatorias las que retiran la piel del alimento, que permanece estacionario. Este sistema resulta particularmente adecuado para los frutos cítricos cuya piel se retira con facilidad sin apenas deterioro o pérdida de peso (Valencia, 2007).
- Pelado por abrasión: En este sistema el alimento entra en contacto con unos rodillos de carborundo o se coloca en unos recipientes recubiertos con este material (material abrasivo a base de silicio y carbono). Esta superficie abrasiva arranca la piel que es seguidamente arrastrada por una corriente abundante de agua. Las ventajas de este método son su bajo coste energético (dado que esta operación se realiza a temperatura ambiente), los escasos gastos de inversión que requiere y el buen aspecto de los alimentos pelados por este método. Algunos productos de forma

irregular (por ejemplo, patatas con cavidades) requieren un acabado a mano. Las limitaciones de este sistema son: Las pérdidas que provocan son mayores que las del pelado a vapor (25% contra un 8-18% para las verduras). La producción de grandes cantidades de efluentes diluidos cuya eliminación resulta cara y difícil, y La escasa capacidad de este sistema ya que los alimentos deben contactar individualmente con la superficie abrasiva. Una excepción a estas objeciones la constituyen las cebollas cuya piel se elimina con facilidad en rodillos abrasivos con una producción de hasta 2.500 kg/h (Valencia, 2007).

- Pelado Químico (Pelado cáustico): Este sistema utiliza una solución diluida de hidróxido sódico a 100-120°C. Por el procedimiento antiguo de pelado cáustico los alimentos pasan por un baño de sosa al 1-2%, este mecanismo consiste en tratar las frutas con una solución diluida de hidróxido de sodio que actúa disolviendo las sustancias pectínicas que se encuentran debajo de la epidermis. Esto permite el desprendimiento de la piel prácticamente sin pérdidas de mesocarpio (Valencia, 2007). Es importante recordar que luego del pelado químico es necesario realizar un enjuague de forma de no alterar el pH del producto. Si bien este sistema era, en otro tiempo, de uso corriente para el pelado de productos como remolachas, zanahorias, etc. provocaba en algunos de ellos cambios de color y además resultaba caro. Una variante de este sistema de pelado cáustico es el sistema de pelado cáustico en seco, en el que el alimento se sumerge en una solución del 10% de hidróxido sódico que reblandece la piel siendo ésta posteriormente eliminada en unos discos o rodillos de goma. Esta variante reduce tanto el consumo de agua, como las pérdidas de producto y genera un efluente de consistencia pastosa que se elimina con mayor facilidad (Valencia, 2007).
- Pelado a la llama: Se utiliza principalmente para las cebollas. Consiste en una cinta sinfín que transporta el producto en rotación a través de un horno a una temperatura superior a 1.000°C. A su paso por el horno, la última capa de la cebolla y las raíces más finas se queman y la piel chamuscada

es eliminada mediante una ducha de agua a alta presión. Las pérdidas medias por este sistema son del 9% (Wiley, 1997).

- El pelado químico es muy utilizado para una gran diversidad de frutas y hortalizas, como durazno, manzana, pera, guayaba, toronja, papas, zanahorias, betabel, etc., lo cual requiere, para cada caso, una concentración de hidróxido de sodio y un tiempo de exposición específicos como menciona (Barreiro y Sandoval, 2006), como se ilustra en el Cuadro 5:

Cuadro 2. Condiciones para el pelado químico de algunas frutas y hortalizas.

Producto	Concentración de NaOH (%)	Tiempo (min.)	Temperatura (°C)
Durazno	2-4	1-2	95
Manzana	6	3-4	95
Pera	1	1-2	95
Betabel	7	3-4	95
Papa	10	6	100
Zanahoria	5	2.7	100

2.3. Proceso de deshidratación

El secado de los alimentos es uno de los métodos más comunes de conservación. El principio de secado es el de disminuir la disponibilidad del agua para las reacciones enzimáticas y de crecimiento microbiano mediante la eliminación del agua libre de los productos alimenticios. Otro de los objetivos del proceso de secado es la reducción de volumen y peso global en la elaboración de alimentos útiles (Geankoplis, 1998).

Según Brennan *et al.* (1998) la deshidratación de alimentos determina una reducción de peso y normalmente también de volumen, por unidad de valor alimenticio, e incrementa la vida útil de los productos desecados en comparación con los correspondientes alimentos frescos.

2.3.1. Transferencia de materia y calor.

Singh (1998) indica que la transferencia de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor generado se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste. Estos flujos de materia y calor en el interior del alimento tienen lugar a nivel molecular; el calor transmitido depende de la conductividad térmica del alimento mientras que el flujo de agua será proporcional a la difusión molecular del vapor de agua en el aire.

2.3.2. Pruebas de secado

La determinación experimental de la velocidad de secado se basa en un principio simple: medida del cambio del contenido de humedad durante el secado. El material que se desea secar se introduce en una bandeja y es expuesto a una corriente de aire. La bandeja se suspende de una balanza colocada en un armario o conducto por el que fluye aire. El peso del material se va anotando en función del tiempo de secado. La Figura 7 muestra un esquema típico utilizado en la determinación de la velocidad de secado Singh (1998).

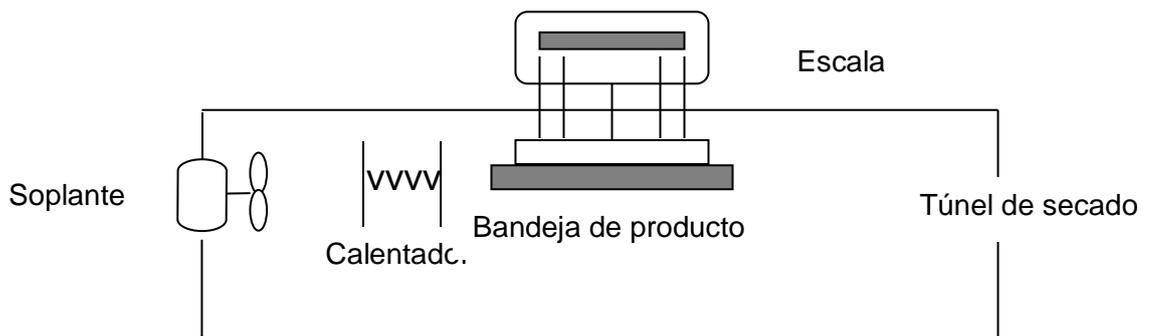


Figura 7. Equipo para la determinación de la velocidad de secado.

2.3.3. Secado por aire caliente

Al secar un sólido húmedo con aire caliente, el aire aporta el calor sensible y el calor latente de vaporización del agua y actúa también como gas portador, para

eliminar el vapor de agua que se forma en la velocidad de la superficie de evaporación (Geankoplis,1998).

Considérese la situación en la que un sólido inerte, humedecido con agua pura, se seca en una corriente de aire caliente, que fluye paralelamente a la superficie de secado. Supóngase que la temperatura y la humedad de aire sobre la superficie de desecación se mantienen constantes, durante todo el ciclo de secado, y que todo el calor necesario se le aporta al producto por convección (Geankoplis,1998).

Si se registra el cambio del contenido en agua del producto durante todo el proceso de desecación, los datos se pueden representar como en la Figura 7. El estudio de estas gráficas muestra que el ciclo de secado puede descomponerse en varias fases o etapas (Brennan *et al.*,1998):

2.3.4. Difusión de humedad.

Según Singh (1998), el agua se elimina de los alimentos mediante difusión, en fase líquida y/o vapor, a través de su estructura interior. Al movimiento de agua líquida le seguirá su evaporación en algún punto en el interior del alimento, pudiendo estudiarse el flujo difusional como si fuera una difusión molecular. Así, el flujo del 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. Además, dado que para evaporar el agua es necesario calor, el proceso supone realmente un transporte simultáneo de materia y calor.

2.3.5. Curvas de secado.

El proceso de secado de un material puede describirse por una serie de etapas en las que la velocidad de secado juega un papel determinante. La Figura 8, muestra una típica curva de velocidad de secado, en la que los puntos A y A' representan el inicio de secado para un material frío y caliente, respectivamente. El punto B representa la condición de temperatura de equilibrio de la superficie del producto. El tiempo transcurrido para pasar de A o A' a B suele ser bajo y a menudo se desprecia en los cálculos de tiempo de secado (Geankoplis, 1998).

El tramo de la curva B-C como se observa en la Figura 8 es conocido como período de velocidad constante de secado y está asociado a la eliminación del agua no ligada del producto, en el que el agua se comporta como si el sólido no estuviera presente. Al inicio la superficie del producto se encuentra muy húmeda, presentando una actividad de agua cercana a la unidad. En los sólidos porosos el agua eliminada en la superficie es compensada por el flujo de agua desde el interior del sólido. El período de velocidad constante continúa mientras que el agua evaporada en la superficie puede ser compensada por la que se encuentra en el interior. La temperatura en la superficie corresponde aproximadamente a la de bulbo húmedo (Geankoplis, 1998).

El punto C de la Figura 8 representa el inicio del período de velocidad decreciente. En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener el valor uno de actividad de agua. El período de velocidad decreciente se puede dividir en dos etapas. La primera de ellas se da cuando los puntos húmedos en la superficie disminuyen continuamente hasta que la superficie está seca completamente (punto D), mientras que la segunda etapa del período de velocidad de secado decreciente se inicia en el punto D, cuando la superficie está completamente seca, y el plano de evaporación se traslada al interior del sólido. El calor requerido para eliminar la humedad es transferido a través del sólido hasta la superficie de evaporación y el vapor de agua producido se mueve a través del sólido en la corriente de aire que va hacia la superficie. A veces no existen diferencias marcables entre el primer y segundo período de velocidad decreciente. La cantidad de agua eliminada en este período puede ser baja, mientras que el tiempo requerido puede ser elevado, ya que la velocidad de secado es baja (Geankoplis, 1998).

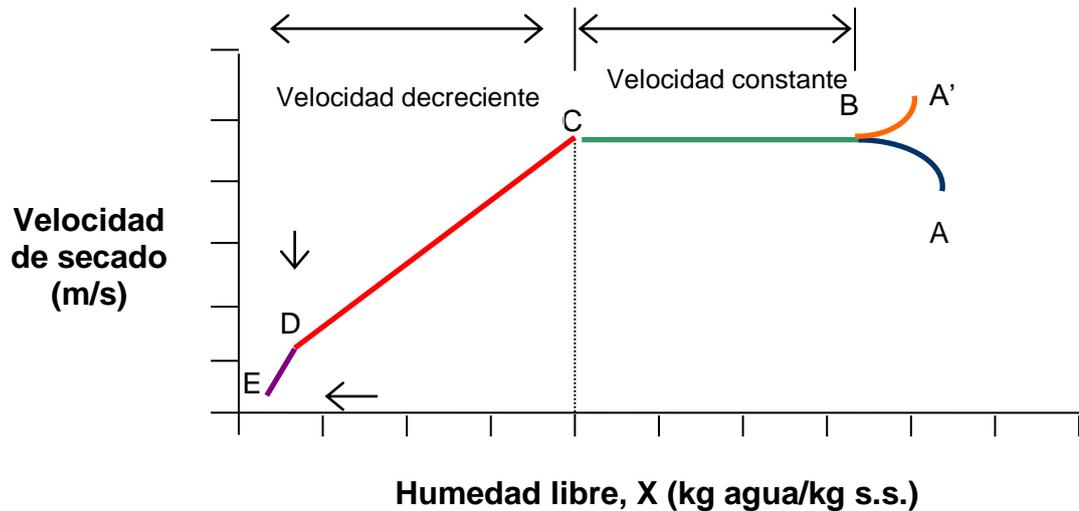


Figura 8. Curva de velocidad de secado.

Fuente: Geankoplis, (1998).

2.3.6. Velocidad de secado

Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material, se procede a colocar una muestra en una bandeja. Si se trata de material sólido se debe llenar por completo la base de la bandeja, de manera que sólo quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida en peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja de una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado (Geankoplis, 1998).

Al realizar experimentos de secado por lotes, deben tomarse ciertas precauciones para obtener datos útiles en condiciones que se semejen lo más posible a las que imperarán en operaciones a gran escala (Geankoplis, 1998).

La velocidad del deshidratado se define como la pérdida de humedad del sólido en la humedad del tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial $\left(\frac{dx}{dt}\right)$ operando en condiciones constantes de secado, es decir, con aire a temperatura, presión, humedad y velocidad constante. El modelo matemático de la velocidad de secado según (Geankoplis, 1998).

$$R = -\frac{L_s}{A} \left(\frac{dx}{dt} \right)$$

Donde:

R = velocidad de secado, en kg. H₂O / hr – m²

S = peso del sólido seco, en kg

A = área de la superficie expuesta, en m²

La muestra no debe ser demasiado pequeña y se debe introducir en una bandeja similar a la que se usará en producción. La relación entre superficie de secado y superficie de no secado (superficie aislada) así como la profundidad del lecho del sólido deben ser idénticas. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser las mismas y constantes para simular un secado en condiciones constantes. La figura 9 ilustra la curva características del proceso de secado (Geankoplis, 1998).

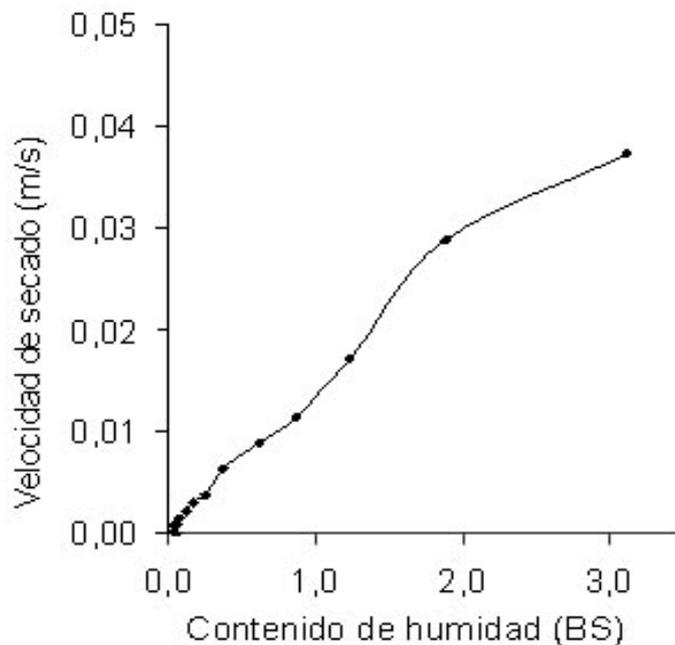


Figura 9. Curva de cinética de secado.

2.3.6.1. Período de velocidad constante de secado.

Si la transmisión de calor desde el aire de secado es exclusivamente por convección, la temperatura de la superficie cae hasta la temperatura de bulbo húmedo del aire, ya que la película de agua de la superficie absorbe el calor latente de evaporación. La temperatura de bulbo húmedo se puede determinar

de los datos psicrométricos para aire húmedo y la velocidad de secado permanece constante ya que existe agua libre en la superficie (Barbosa y Vega, 1997).

2.3.6.2. Contenido crítico de humedad y período de velocidad decreciente.

A medida que disminuye el contenido de humedad, termina el período de secado a velocidad constante y la velocidad de secado disminuye. El punto donde termina el período de velocidad constante, recibe el nombre de punto crítico. Este punto marca el instante en el que el agua líquida sobre la superficie es insuficiente para mantener una película continua que recubra toda el área de secado y, como la cinética se calcula con respecto a un área constante, la velocidad de secado a partir del punto crítico empieza a descender (Brennan *et al.*, 1998).

2.3.6.3. Análisis del color.

El color es una respuesta mental al estímulo producido en la retina humana por una radiación luminosa visible, pero la medida de éste estímulo depende de las condiciones que lo rodean. Para lograr unificar dichas medidas se han definido unas condiciones estándar que permite obtener resultados comparables, como son: el observador, la iluminación, la geometría de iluminación-observación y el intervalo de medida (Sensing, 2016).

El estímulo cromático está caracterizado por la colorimetría triestímulo, la cual permite obtener una medida objetiva de color por medio de tres sensaciones o atributos psicométricos, que dan finalmente un carácter tridimensional a este estímulo. Estos son: el tono, la luminosidad y la saturación. El tono o matiz, se refiere a aquella característica que permite clasificar un color como rojo, amarillo, verde o azul, y está relacionado con las diferencias de absorbancia/transmitancia de la energía radiante a diferentes longitudes de onda, en otras palabras es el atributo cualitativo del color. La saturación o pureza, describe el grado o la intensidad con la que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro del espectro, y describe la reflexión o transmisión a una determinada longitud de onda; es considerado el atributo

cuantitativo de la cromaticidad. La luminosidad o brillo, permite clasificar el color como claro u oscuro, que se define como la característica de una sensación de color que la hace equivalente a la producida por algún elemento de la escala de grises que va desde el blanco (máxima luminosidad - 100) hasta el negro (mínima luminosidad - 0), haciendo un elemento más claro u oscuro. Esta característica es una medida relativa de la luz reflejada frente a la absorbida, por lo tanto no se considera como partícipe de la cromaticidad (Sensing, 2016).

Las leyes que rigen la igualación del color son conocidas como “generalización tricromática”, las cuales se pueden expresar considerando un espacio vectorial o espacio tridimensional “espacio triestímulo”, lo cual da inicio a un sistema colorimétrico propuesto por el organismo encargado de recoger y unificar los términos, teorías y sistemas de color, como la Comisión Internacional de Iluminación (CIE – “Commission Internationale de l’Eclairage”). Esta organización propone diversos sistemas que permiten definir el color, siendo el más reciente el espacio CIELAB, que se representa en coordenadas rectangulares como claridad o luminosidad, L^* , y cromaticidad, a^* y b^* , como se observa en la Figura 10. Los componentes de cromaticidad presentan valores desde $(-a^*)$ a $(+a)$ y $(-b^*)$ a $(+b^*)$, donde a^* va de verde a rojo y b^* de azul a amarillo (Sensing, 2016).

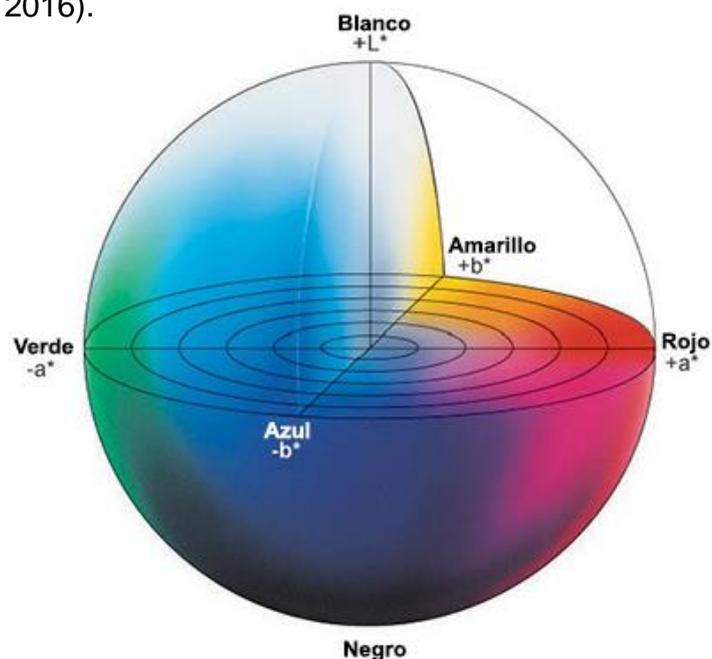


Figura 10. Espacio de color CIELab.

2.4. Molienda

Muchos materiales sólidos se presentan en tamaños demasiado grandes para su uso por lo que deben reducirse. Con frecuencia la reducción de tamaño de los sólidos se lleva a cabo para poder separar sus diversos ingredientes. En general los términos trituración y molienda se usan para denotar la subdivisión de partículas sólidas grandes en partículas más pequeñas (Geankoplis, 1998). La trituración (crushing) se refiere al desmenuzamiento de materiales groseros hasta tamaños del orden de 3 mm, mientras que la molienda a la obtención de productos en polvo, la reducción de tamaño se consigue mediante trituradoras de rodillos, molino de martillos, molino de discos de frotamiento y molinos gravitatorios (de bolas y barras). La selección de los aparatos depende de las características del producto de alimentación: dureza, abrasividad, untuosidad, temperaturas de ablandamiento o fusión, estructura, peso específico, contenido de agua libre, estabilidad química, homogeneidad y pureza (Brennan et al. 1980).

2.5. Tamizado

El Tamizado es un método físico para separar mezclas. Consiste en hacer pasar una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños por un tamiz. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz atravesándolo y las grandes quedan retenidas por el mismo (Odar, 2009).

La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la producción de diferentes productos. Además de lo anterior, se utiliza para el análisis granulométrico de los productos de los molinos para observar la eficiencia de éstos y para control de molienda de diversos productos o materias primas. El tamiz consiste de una superficie con perforaciones uniformes por donde pasará parte del material y el resto será retenido por él. Para llevar a cabo el tamizado es requisito que exista vibración para permitir que el material más fino traspase el tamiz. Los tipos de tamices que vibran rápidamente con pequeñas amplitudes se denominan "Tamices Vibratorios". Las vibraciones pueden ser generadas mecánica o eléctricamente. Las vibraciones mecánicas usualmente son transmitidas por excéntricos de alta velocidad hacia la cubierta de la unidad, y de ahí hacia los tamices. El rango de vibraciones es

aproximadamente 1800 a 3600 vibraciones por minuto. Como era de esperar, su principal uso es en harinas y granos (Odar, 2009).

2.5.1. Análisis granulométrico

La granulometría, tema que nos ocupa, es la composición, en porcentaje, de los diversos tamaños de agregado en una muestra. Esta proporción se suele indicar de mayor a menor tamaño, por una cifra que representa, en peso, el porcentaje parcial de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los diferentes tamices que se usan obligatoriamente para tal medición (American Society for Testing Materials, 1999).

Una forma de medir tamaños de partícula es haciéndolo por mallas o tamices de distintas aperturas. La apertura también se denomina luz del tamiz. Todas las partículas que atraviesen el tamiz tendrán un tamaño menor que su luz (Odar, 2009).

Utilizando una serie de tamices de aperturas decrecientes apilados se consigue fraccionar el sistema en muestras de distintos tamaños de grano. Lo que queda retenido en un tamiz tiene un tamaño de partícula comprendido entre la apertura de dicho tamiz y la del tamiz inmediatamente anterior. De este modo se acotan los intervalos de tamaño de grano (Odar, 2009).

Determinar el número de partículas en cada tamiz es muy complicado cuando el tamaño es pequeño, por lo que se utiliza la masa retenida. Pesando lo que ha retenido cada tamiz se obtiene el porcentaje en peso de material para cada intervalo de tamaños (Odar, 2009).

Existen tamices metálicos con mallas de aperturas cuadradas desde 50 mm hasta unos 0.038 mm de lado. La norma UNE 7 050-2 describe las características y los nombres de los tamices que deben emplearse en las granulometrías en Europa, según la normativa en vigor. Una serie de tamices habitualmente utilizada son 50, 40, 37.5, 20, 12.5, 10, 6.3, 5, 2, 1.25, 0.40, 0.160 y 0.038 mm de apertura (American Society for Testing Materials, 1999).

La función fraccionaria se puede representar con puntos o mediante una línea, ya que todas las partículas del intervalo (con tamaños comprendidos entre a_{i-1} y a_i) quedan representadas por el tamaño medio del intervalo a_i . En el eje de ordenadas puede aparecer el porcentaje en peso (como en la anterior figura) o directamente el peso retenido por cada tamiz (American Society for Testing Materials, 1999).

A partir de los datos fraccionarios se calcula la función distribución acumulativa en masas (F_M) sumando de forma acumulativa el porcentaje de masa de los intervalos sucesivos. La suma se puede hacer de tamaños pequeños a grandes o de tamaños grandes a pequeños. Para representar esta función se toman como valores del eje de abscisas el extremo del intervalo de tamaños hacia donde se está acumulando, es decir, el extremo de mayor tamaño si se acumula de pequeñas a grandes o el extremo de menor tamaño si se acumula de grandes a pequeñas (American Society for Testing Materials, 1999).

En las especificaciones de las materias primas granulares, en polvo y coloides se suele indicar el tamaño de partícula correspondiente al 90, 50 y 10 % de la función distribución acumulativa. El 50 % corresponde aproximadamente al tamaño medio del sistema. Los valores de tamaño entre el 10 y el 90 % dan idea del rango de tamaños que tiene la muestra. Estos dos parámetros, tamaño medio y anchura de la distribución, se utilizan para identificar la distribución de tamaños de un sistema disperso y permiten comparar la granulometría de distintas materias primas (American Society for Testing Materials, 1999).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial; para los experimentos de secado, etapas previas, se realizaron en los Laboratorios de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales (ANACOMPA) y Laboratorio de Ingeniería y Diseño, los análisis fisicoquímicos, en el laboratorio de Investigación a la Universidad Nacional de San Martín, ubicado en la Ciudad universitaria, distrito de Morales, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín.

3.2. Materia prima e insumos

3.2.1. Materia prima

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se emplearon rizomas en estado de madurez maduro con color anaranjado amarillo de la variedad palillo (*Curcuma longa*, Linneo); producidos y adquiridos en el distrito de San Antonio de Cumbaza, provincia de San Martín, departamento de San Martín.

3.3. Equipos y materiales de laboratorio

3.3.1. Equipos

- Balanza Digital DENVER INSTRUMENT COMPANY, capacidad 8000 g, exactitud 0.1g.
- Balanza Analítica Marca AND GH-200, Cap. Máx. 220 g.
- Mufla Thermolyne 1500 Furnace, temperatura máxima 1200°C, 2240 watts, USA.
- Estufa MEMMERT, tipo U30, Temperatura máxima 220°C, 1400 Watts.
- Balanza electrónica, capacidad 500 g., exactitud 0.1 g.
- Cocina eléctrica Fisher, temperatura máxima 600 °C.
- Digestor Buchi para proteína, tipo B425, 1100 Watts, Suecia.
- Equipo Semi-microkjeldhal, Marca J. P.- Selecta, Modelo 627,220 voltios, 2000 Watts.

- Destilador microkjeldhal marca Büchi.
- Extractor Soxhlet.
- Selladora eléctrica.
- Secador por flujo de aire caliente equipado con un termostato, lámpara piloto.
- Molino manual y de discos.
- Equipo de tamizado con mallas ASTM de 20, 40, 80 y 100 mm.
- Colorímetro triestímulo portátil marca Konica Minolta, modelo CR-400).
- Equipo de cómputo.
- pHmetro. Marca METROHM Modelo 827 PH LAB.
- Termómetro digital Lasserliner, rango de 0 a 200 °C.
- Mufla. Marca WARNING. Voltios 220.
- Equipos de filtrado (matraz Kitazato, embudo buchner).
- Cocina eléctrica marca FICHER, temperatura máxima de 600°C, 220 voltios.
- Equipo de titulación.

3.3.2. Materiales

- Picador manual.
- Vasos de precipitación de 100, 250 y 100 ml. Marca shortt
- Termómetros de mercurio.
- Pinzas de acero inoxidable.
- Pie de rey (KAMASA de 20 cm)
- Bureta de 10 ml.
- Probetas de 100, 250 y 500 ml.
- Cuchillos de acero inoxidable.
- Embudo de vidrio.
- Placas petri.
- Cronómetro.
- Campanas desecadoras de vidrio.
- Pipetas 1ml, 0.5 ml.
- Crisoles.
- Pizetas.

- Papel filtro sin cenizas.
- Bandeja de secado.
- Bolsas de polietileno de alta densidad.
- Papel filtro sin cenizas.
- Matraz.
- Papel aluminio
- Papel toalla
- Guantes de látex
- Mascarilla
- Pinzas de metal
- Espátula
- Cuchillo de acero inoxidable
- Plumón indeleble

3.3.3. Reactivos.

- Reactivos para los análisis físico – químico proximales.
- Fenolftaleína al 1%.
- Sulfato de fierro II
- Sulfato de potasio
- Sulfato de cobre
- Indicador de metilo
- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4).
- Ácido Clorhídrico (HCl).
- Ácido Bórico.
- Éter de Petróleo. MERCK.
- Hidróxido de Sodio (NaOH). al 0.1N.
- Nitrato de Magnesio

3.4. Metodología experimental para el deshidratado de palillo.

El desarrollo experimental se llevó a cabo en dos etapas.

- Primera etapa que consistió en realizar las pruebas preliminares para determinar mejor pelado químico de los rizomas de palillo.
- En la segunda etapa se llevó a cabo el secado de rizomas de palillo.

En la Figura 11 se muestra el esquema experimental correspondiente a las operaciones del secado del palillo.

3.4.1. Análisis para decidir la mejor concentración y tiempo de pelado químico de rizoma de palillo.

Se utilizó el diseño completamente al azar con arreglo factorial de 3x3 con dos repeticiones, considerando las variables independientes concentración de NaOH 4%, 5% y 6% a tiempos de inmersión de 10, 15 y 20 segundos, siendo las variables respuesta el porcentaje (%) de pelado y cantidad de puntas negras en los rizomas de palillo; los niveles de los factores son mostrados en el Cuadro 3; los resultados fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANVA) con nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, siendo la variable respuesta el color de los rizomas después de los tratamientos, de existir diferencia significativa se realizó la optimización de los parámetros mediante superficie respuesta de segundo orden, siguiendo las recomendaciones de Box *et al.* (1989) utilizando el programa Statistica 5.0.

Cuadro 3. Variables independientes codificadas y naturales usadas para la generación del diseño experimental para el pelado químico.

Concentración (%) \ Tiempo (segundo)	10 (-1)	15 (0)	20 (+1)
NaOH (4%) (-1)	T1	T2	T3
NaOH (5%) (0)	T4	T5	T6
NaOH (6%) (+1)	T7	T8	T9

3.4.2. Análisis para decidir el mejor espesor de rodajas y temperatura de secado en el rizoma de palillo.

Puesto que la deshidratación de productos alimenticios tiene variaciones de comportamiento debidos a la estructura del material, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3x3, los factores fueron: espesor de las rodajas de 2, 3 y 4 mm y temperatura de secado a 40, 50 y 60 °C, ambos factores con $\alpha \pm 1$ (Cuadro 4). La variable respuestas fueron pérdida de peso y perdida de húmeda de la rodaja de palillo. Se realizó un análisis de varianza, considerando un error de $\alpha=0.05$, para optimizar el efecto de los factores se representó mediante las gráficas de superficie de respuesta recomendados por Box *et al.* (1989), utilizando el software estadístico Statistica 5.0. La variable de respuesta fue la humedad controlada a 5 y 10 horas y color

Cuadro 4. Variables independientes codificadas y naturales usadas para la generación del diseño experimental para la pérdida de humedad a 5 y 10 horas en el secado de palillo.

Temperaturas Espesores	40 °C (-1)	50 °C (0)	60 °C (+1)
2 mm (-1)	T1	T2	T3
3 mm (0)	T4	T5	T6
4 mm (+1)	T7	T8	T9

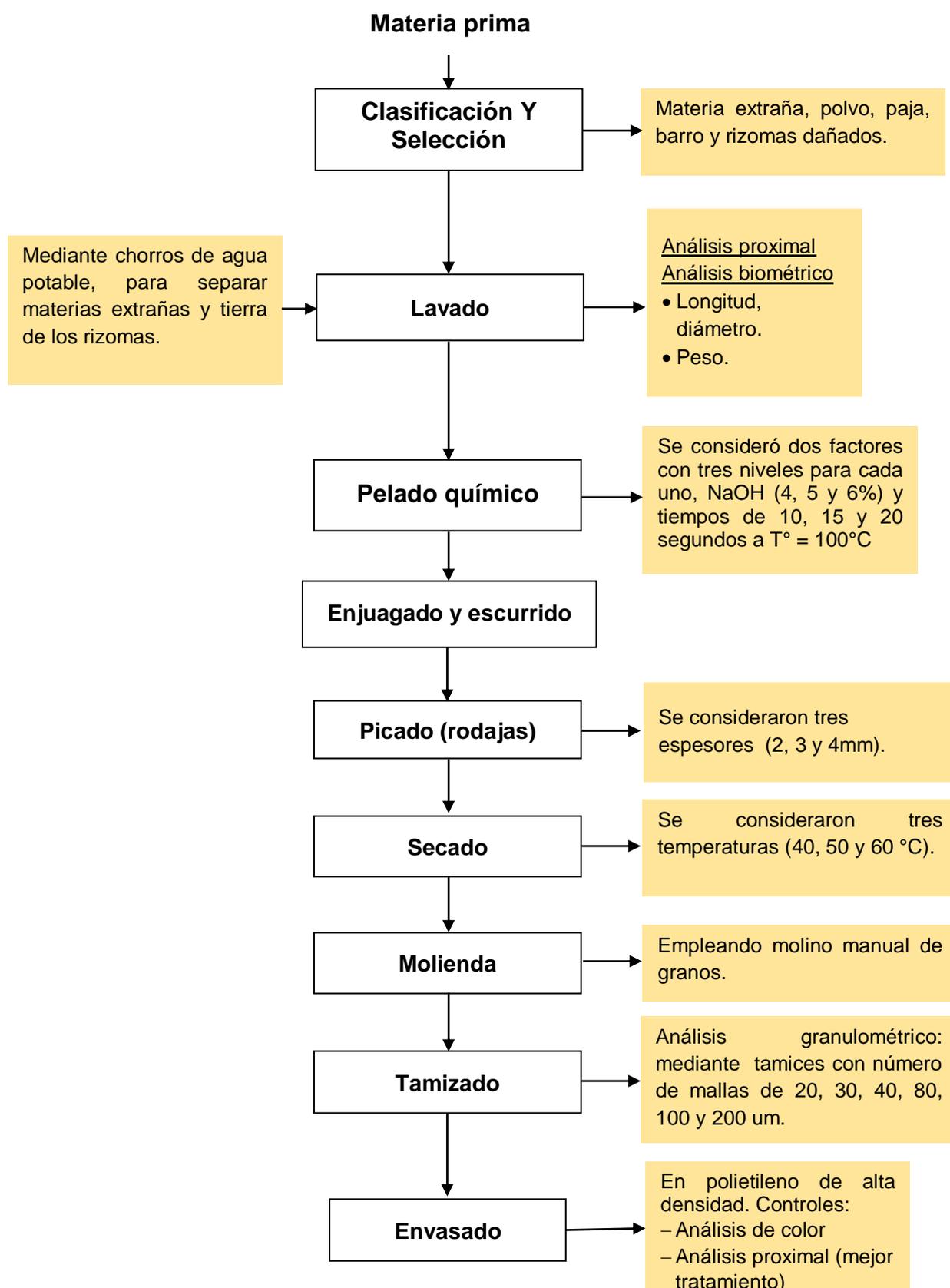


Figura 11. Diagrama de flujo de deshidratado del rizoma del palillo.

3.4.3. Descripción de las operaciones del proceso

a). Materia prima

Los rizomas fueron adquiridos en el distrito de San Antonio de Cumbaza, provincia de San Martín, departamento de San Martín. Se colocaron en jabas, esparciéndolos para su posterior limpieza. El rizoma del palillo se encontró fresco, con olor característico de palillo fresco.

b). Clasificación y selección.

Se realizó con la finalidad de eliminar los ejemplares inapropiados para el proceso, por causas como putrefacción, ruptura de tejidos o avanzado estado de alteración, como también de agruparlos por tamaño y calidad del producto a procesar.

c). Lavado

Con el fin de trabajar con el producto a deshidratar en condiciones óptimas e higiénicas, se procedió a lavar los rizomas con agua potable para así eliminar todo tipo de impurezas, materias orgánicas y microorganismos presentes en los rizomas de palillo.

d). Pelado químico

Este sistema consistió en sumergir o asperjar el rizoma de palillo que se va a pelar en una solución diluida a 4%, 5% y 6 % de hidróxido de sodio (NaOH) durante periodos cortos 10, 15 y 20 segundos (ver Cuadro 3) a temperatura de 100°C c/u (cocina eléctrica). La unidad experimental fue de 100 gramos. El hidróxido de sodio desintegra la piel, que se elimina posteriormente mediante agua a presión (método tradicional). Seguidamente se evaluó de forma visual el porcentaje de pelado y puntas negras en el rizoma sometido a pelado químico; luego del procesado los valores para ser ajustados por medio de superficie de respuesta.

e). Enjuagado y escurrido

Inmediatamente después del pelado químico se procedió a lavar los rizomas con abundante agua potable con la finalidad de eliminar los residuos de NaOH

y cáscara de la superficie, posterior a este proceso se dejó escurrir por un tiempo de 15 minutos.

f). Picado

A los rizomas limpios y lavados se realizó un corte transversal con cuchillo super slicer (acero inoxidable de 4 regulaciones) quedando rizomas en rodajas de 2, 3, y 4 mm de espesor.

g). Secado

En este proceso se acondicionó los rizomas en rodajas en unas bandejas de 20x20cm previamente desinfectadas y pesadas, teniendo en cuenta los factores en estudio que se mencionan en el Cuadro 4. La unidad experimental estuvo constituida por 300 gramos de rodajas de palillo fresco pelado.

El proceso de secado de las rodajas de rizomas se realizó en un secador con flujo de aire donde se programó las temperaturas planteadas en el diseño experimental, como se muestra en la Figura 11, a una velocidad constante de 1.2 m/s. Controlando así el tiempo de secado siendo este independiente para cada tratamiento.

h). Molienda

Para este proceso se usó un molino manual de discos, de acero inoxidable con capacidad de 10 kilos/hora para obtener cúrcuma o palillo en polvo.

i). Tamizado

Con la finalidad de obtener el rizoma de palillo de tamaño más uniforme se realizó el análisis granulométrico de la harina de palillo en un juego de tamices ASTM E - 11/9, con mallas de N° 20 (0.850 um), N° 30 (0.60 um), N° 40 (0.425 um), N° 80 (0.180 um), N° 100 (0.150 um) y 200 (0.075 um), tal como menciona la Norma ISO 3310/1-2000.

j). Envasado

Se envasó en bolsas de polietileno de alta densidad, en forma aséptica, al producto deshidratado. Después se realizó el análisis proximal, análisis microbiológico.

3.5. Métodos de control.

En el trabajo de investigación se realizaron diferentes controles del rizoma del palillo fresco y rizoma deshidratado; como, análisis biométrico, proximal, evaluación sensorial, los cuales se describen a continuación.

3.5.1. En el rizoma de palillo fresco.

3.5.1.1. Caracterización biométrica del rizoma de palillo.

Se determinó el peso de los rizomas, para el cual se utilizó una balanza analítica determinando así el peso promedio del rizoma, luego se tomaron 20 rizomas en los cuales se midió, con el vernier, la longitud y diámetro teniendo en cuenta las recomendaciones de ITINTEC (1982).

3.5.1.2. Análisis físico químico.

a) Humedad: se utilizó el método de gravimetría porcentual recomendado por (AOAC, 1990). Este método se basa en el secado de la muestra a 105°C y presión atmosférica hasta obtener un peso constante.

b) Proteína total. Se determinó por el método Kjeldahl, donde se determinó el nitrógeno presente en rizoma del palillo, utilizando como factor 6,25 para obtener el porcentaje de proteínas presentes (AOAC, 1990).

c) Grasa total: se cuantificó por el método de Soxhlet utilizando como solvente orgánico éter de petróleo. El solvente extrae la grasa de la muestra depositándola en el matraz previamente tarado luego se lleva a la estufa a 105°C para evaporar el solvente, se pesa y por diferencia de pesos se obtiene la cantidad de grasa presente en la muestra (AOAC, 1990).

- d) Cenizas totales:** se realizó por el método de mufla; la muestra previamente pesada fue colocada en un crisol tarado y llevada a calcinación en mufla a 600°C por 24 horas, quemando así todo material orgánico (grasa, proteína, carbohidratos, vitaminas, ácidos orgánicos y otros.), una vez obtenida la ceniza (material orgánico que no se destruye), el crisol fue pesado (AOAC, 1990).
- e) Fibra total:** se determinó por el método gravimétrico, mediante una digestión ácida y alcalina. La fibra cruda o bruta se determinó eliminando los carbohidratos solubles por hidrólisis mediante la acción de los ácidos y álcalis en caliente, y las cenizas por diferencia de peso después de la ignición de la materia fibrosa obtenida (AOAC, 1990).
- f) Carbohidratos totales:** se determinó por diferencia restándose del total (100%) la sumatoria de los porcentajes de humedad, grasa, ceniza, fibra y proteína. (AOAC, 1990).

3.5.2. En el proceso de deshidratación de las rodajas rizoma de palillo.

3.5.2.1. Determinación de la variable color de palillo

Se determinó el color del rizoma de palillo en un colorímetro triestímulo portátil, Minolta modelo CR_400, con iluminante D65 y ángulo observador de 0°C, se colocó la muestra en su recipiente abierto del equipo luego incorporamos el equipo estando este en contacto directo con la muestra. procedimos a prender el equipo luego se presionó el botón de medición, en este el equipo emite una luz xenón pulsante y las longitudes de onda emitidas por la muestra, son transcritas por el colorímetro a valores de espacio de color seleccionado, como L*=(-) luminosidad (+), a*= eje verde(-) a rojo(+) y b* = eje azul (-) a amarillo(+). (Sensing, 2016).

3.5.2.2. Control de peso:

En este proceso se registró la pérdida de peso de la muestra durante el tiempo de secado para cada tratamiento. Anotando así los datos que sirvieron para determinar la curva de secado y velocidad de secado.

3.5.2.3. Determinación de velocidad de secado:

Con los datos obtenidos en humedad y tiempo se determinó el comportamiento de la velocidad de secado (Geankoplis, 1998), graficando los valores R vs humedad promedio (Ecuación N° 01).

$$R = \frac{Ls}{A} \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right) \dots \dots \dots \text{(Ecuación N°01)}$$

R = Velocidad de secado (Kg H₂O/h.m²).

Δx = Variación de humedad (Adimensional).

Δt = Variación de tiempo (h).

Ls = Masa de Solido seco (Kg).

A = Área de Superficie expuesta al secado (m²).

3.5.2.4. Determinación de la difusividad:

La difusividad del agua se determinó ajustando los datos experimentales de humedad adimensional vs tiempo con la Ecuación de Fick para placa plana, utilizando el programa Microcal Origin v 5.0.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{\text{eff}} \frac{\partial^2 C}{\partial^2} \dots \dots \text{(Ecuación N°02)}$$

Solución de la ecuación de Fick para placa plana:

$$\frac{X - X^*}{X_0 - X^*} = \frac{X}{X_t} = \frac{8}{\pi^2} \left[e^{-D_L t \left(\frac{\pi}{2X_1} \right)^2} + \frac{1}{9} e^{-9D_L t \left(\frac{\pi}{2X_1} \right)^2} + \frac{1}{25} e^{-25D_L t \left(\frac{\pi}{2X_1} \right)^2} \right] \dots \dots \text{(Ecuación N° 03)}$$

Dónde:

X: Humedad (Kg H₂O/Kg s.s.)

X*: Humedad en el punto crítico

X_0 : Humedad inicial

X_1 : Espesor

D: Difusividad

T: Tiempo

Fuente: Geankoplis, (1998).

3.5.2.5. Análisis proximal:

El análisis proximal se realizó al mejor tratamiento procediendo como se describe en la página n° 50, para rizomas de palillo.

3.6. Optimización para el pelado químico.

La optimización para el pelado químico, puntas oscuras y porcentaje de pelado (ver Anexo 4).

Para el análisis e interpretación de datos se calculó el ANVA a un nivel de significancia del 0.5, si existiera diferencias significativas se hizo ajustes para ser representadas mediante gráficas de superficie respuesta, procesado por un software SAS versión 10.0 y Statistica 5.0.

3.7. Análisis granulométrico

Se realizó por el método del tamizado como recomiendan Brennan *et al.* (1998), quienes manifiestan que el tamizado es una operación básica en la que una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños se separa en dos o más fracciones pasándolas por un tamiz. Cada fracción es más uniforme en tamaño que la mezcla original. Un tamiz es una superficie conteniendo cierto número de aperturas de igual tamaño. La superficie puede ser plana o cilíndrica. Los tamices planos de pequeña capacidad se denominan cedazos o cribas.

Los tamices se usan extensamente para separar mezclas de productos granulares o pulverulentos en intervalos de tamaños. Además, para separar industrialmente los productos alimenticios en dos o más categorías de tamaño de partículas con fines de manufactura específicos, el tamizado o cribado se

utiliza en el análisis de partículas para determinar el tamaño de las partículas y la distribución de tamaños de los productos pulverulentos Brennan *et al.* (1998). Se usaron un serie de tamices según la norma American Society for Testing Materials. ASTM-E-11/95, serie basada en un tamiz de 18 mallas con una apertura de 1,0 mm y un intervalo de tamiz.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Del rizoma de palillo.

4.1.1. Caracterizaciones biométricas de rizomas de palillo.

En el Cuadro 5 se muestra las características biométricas de los rizomas de palillo, las que incluye evaluación del peso, diámetro transversal y longitud promedio de 20 rizomas se trabajó con palillo de variedad *cúrcuma longa linneo* sin defecto físico alguno, procedente del distrito de San Antonio, provincia de San Martín.

Cuadro 5. Características biométricas de rizomas de palillo.

Característica	Valor promedio
Peso promedio (g)	45.3
Diámetro longitudinal (cm)	1.57
Longitud (cm)	5.92

El peso promedio obtenido de los rizomas de palillo fue de 45.3 gramos, que se encuentra dentro del rango reportado por (Montaño y Montes, 2004) 20 - 50 gramos. Para el calibre en cuanto a los rizomas no hay norma que lo defina específicamente.

Las características del rizoma obtenido fueron tal como se muestra en el Cuadro 4; estos resultados comparados a los requisitos físicos del palillo entero de Norma Técnica Peruana, (1982) que dice lo siguiente:

- No deberá contener más del 7% (m/m) de rizomas que tengan una longitud menor de 15 mm y residuos o fragmentos.

Se observa que el resultado promedio obtenido para la longitud es superior a lo que dice la norma.

En cuanto a la longitud promedio total de los rizomas de palillo recolectados para el experimento es de 5.92 cm, valor que coincide con los datos obtenidos por Cabieses (1993) y León (2000) que reportan la longitudes de entre 5 a 7 cm., lo que indica que los rizomas de palillo fue cosechado con un índice de madurez óptimo. Además el diámetro promedio de los rizomas de palillo fue de 1.57 cm., dato que difiere con los obtenidos por Díaz (2002) que indica que los rizomas del palillo son voluminosos, llegando a alcanzar hasta 10 cm. de diámetro; mientras que García (1986) manifiesta que el rizoma principal puede medir hasta un diámetro de 2.5 centímetros valor no muy lejano a lo obtenido.

La forma del rizoma es carnososo, aovado, piriforme (cúrcuma redonda) y de él salen otros rizomas secundarios, alargados, algo cilíndricos y tiernos (cúrcuma larga) (Ver Figura 12).



Figura 12. Rizomas del palillo fresco

4.1.2. Pelado químico

De los resultados de pelado químico de rizoma de palillo se observó los 9 tratamientos evaluando cual presenta mayor porcentaje de pelado y menor cantidad de puntas negras o manchas negras. Las cuales se optimizaron por medio de gráficas de superficies respuesta, que fueron generadas a partir de las variables independientes concentraciones de NaOH a 4%, 5% y 6% y tiempos de inmersión de 10,15 y 20 segundos a una temperatura de 100°C. Las gráficas se muestran en las Figuras 13 y 14.

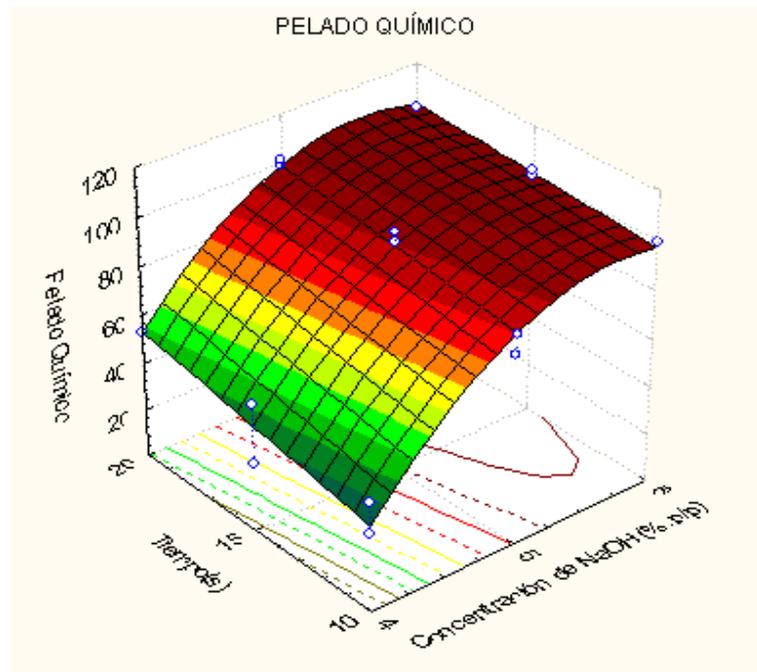


Figura 13. Superficie de respuesta para determinar el porcentaje de pelado químico en el rizoma de palillo.

De la Figura 13 se observa regiones que permiten determinar bajos porcentajes de pelado y regiones con altos porcentajes, en función de exponer al producto en mayor o menor concentración de NaOH. Es por ello que a 5 y 6% de NaOH sumergidos a 15 y 20 segundos respectivamente se puede apreciar alto porcentaje de pelado de la piel del rizoma. Los autores como Barreiro y Sandoval (2006), mencionan parámetros de pelado químico para frutas y hortalizas (ver Cuadro 6), donde se observa que hay similitud en la influencia de la concentración de soda cáustica (NaOH) para el porcentaje pérdida de la piel de las frutas y hortalizas.

De la figura también se observa que a la concentración 6% de NaOH y un tiempo de inmersión de 20 segundos son las condiciones óptimas para el pelado químico de rizoma de palillo; este resultado, en relación de la concentración de NaOH es similar a lo reportado por Martínez (2008) quien también obtuvo como concentración adecuada 5%; pero en relación al tiempo es variable de 2 a 4 minutos para el caso de la zanahoria; esta diferencia es posiblemente debido al tipo de materia prima y tiempo/temperatura de inmersión.

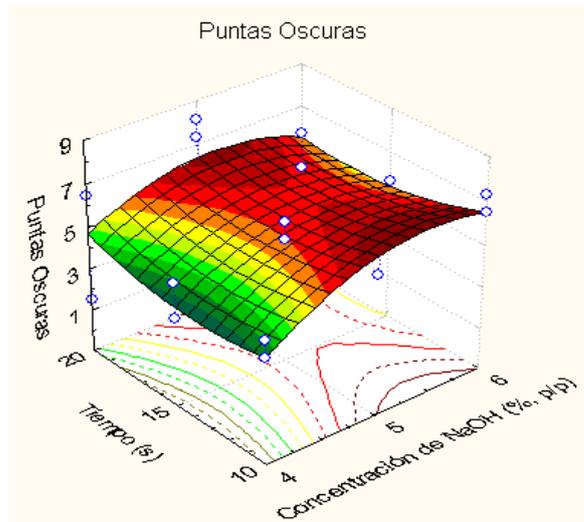


Figura 14. Superficie de respuesta para determinar la presencia de puntas oscuras durante el pelado químico del rizoma de palillo.

En la Figura 14 se observa que influye la concentración de NaOH en la aparición de puntas oscuras en los rizomas sobre el tiempo de inmersión, a menor concentración de NaOH, usando los tiempos de 10, 15 y 20 segundos; las apariciones de las puntas negras son mayores, pero a mayor concentración y 15 ó 20 segundos de inmersión el rizoma de palillo presenta un pelado químico casi sin presencia de puntas negras.

De la figura 15 se confirma la selección al mejor tratamiento de forma visual, clasificados por el porcentaje de pelado y presencia de puntas negras.



Figura 15. Fotografía de los nueve tratamientos evaluados por duplicado para el pelado químico de rizoma de palillo.

De la Figura 16 se concluye que el mejor tratamiento para el pelado químico de los rizomas de palillo es a 6% de NaOH y 20 segundos de inmersión a una temperatura de 100°C, a concentraciones de 4 y 5% se puede observar presencia de piel y quemaduras o puntas negras, por otro lado a concentración de NaOH al 4% y sometidos a los tres tiempos, se observa que no es suficiente la concentración para desintegrar la piel y pelusas de los rizomas

4.1.3. Análisis proximal de rizoma fresco de palillo.

En el Cuadro 6 se muestra los resultados promedios del análisis proximal del rizoma de palillo maduro fresco.

Cuadro 6. Análisis proximal en 100 gramos de rizoma de palillo fresco.

Componente	Concentración (%)
Humedad	83.80
Proteínas	2.71
Grasas	0.10
Cenizas	2.11
Fibra	0.83
Carbohidratos	10.45

El rizoma de palillo presentó un contenido de humedad de 83.80 %, valor comparado a lo reportado por el Ministerio de Salud (2009), de 89.2%, valor que es superior a lo obtenido, las variaciones se deben al estado de madurez del rizoma.

El contenido de proteína del rizoma de palillo es de 2.71%, comparado a 0.4% que reporta el Ministerio de Salud (2009), se observa que destaca en el contenido de proteína.

El contenido de grasa fue el componente más bajo respecto a los demás de 0,10%, valor que corrobora el Ministerio de Salud (2009), de 3.3%,

En cuanto al contenido de cenizas totales, el rizoma de palillo presenta 2.11%, valor que no muy lejano a 1.1 % reportado por Ministerio de Salud (2009).

La cantidad de fibra fue de 0.83% valor inferior a lo indicado por el Ministerio de Salud (2009), de 0.7%,

La diferencia entre el análisis efectuado en el rizoma de palillo y la bibliografía consultada supone una influencia de la variabilidad genética, estado de madurez y otros factores como las prácticas culturales, el clima, el tipo de suelo, tipos de metodología en el análisis (García *et al.* 2001).

4.2. Del rizoma de palillo durante el proceso de secado.

4.2.1. Medición de color.

Durante el proceso de deshidratación se procedió a medir el color de cada uno de los tratamientos, para ello se realizó los mismos procedimientos que se describen el color en la página n° 53.

De la Figura 17, 18 y 19 se observa la luminosidad (L), este es el parámetro de mayor importancia durante el proceso de deshidratación. Cuando este disminuye, significa que el producto comienza a oscurecerse y, por lo tanto, a perder su atractivo. En las primeras horas no existieron diferencias significativas para el valor de L entre los nueve tratamientos efectuados. A partir de las cinco horas y hasta 8 horas, los tratamientos tuvieron menores valores de L. Este resultado indicó que las rodajas de rizomas de palillo pertenecientes al tratamiento (T3) de 2 mm secado a 60°C poseían un color amarillo anaranjado intenso y, el tratamiento (T4) 4 mm y 60°C presenta el valor más negativo; esto se debió a que el oscurecimiento o pardeamiento de los tejidos del rizoma es un fenómeno natural (Urfalino y Worlock, 2015) pero esto no significa que sea necesario aplicarle metabisulfito de sodio previo al proceso de deshidratado, por el mismo hecho que no será significativo.

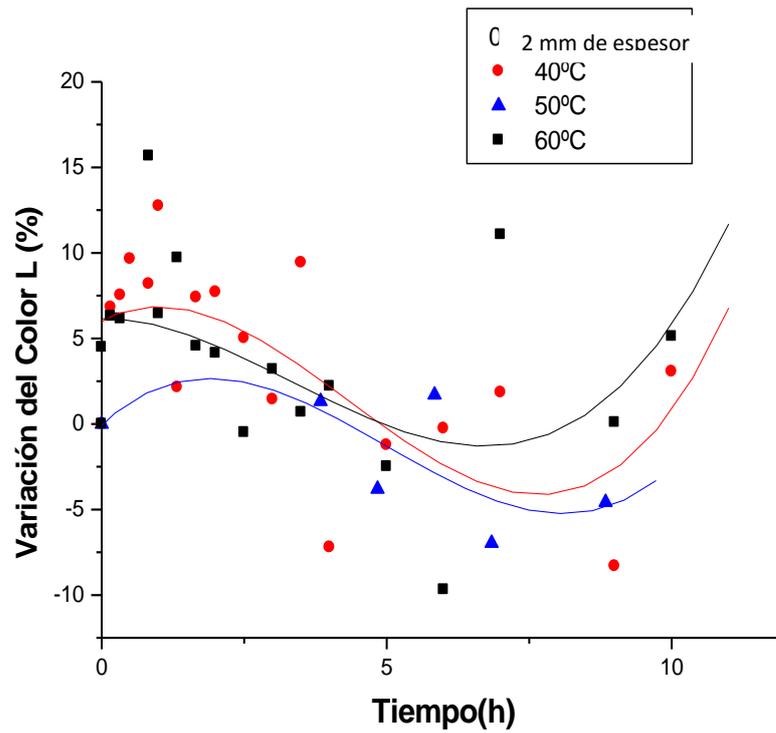


Figura 16. Variación de la luminosidad (L) en función al tiempo para las rodajas de palillo a 2 mm y tres temperaturas de secado.

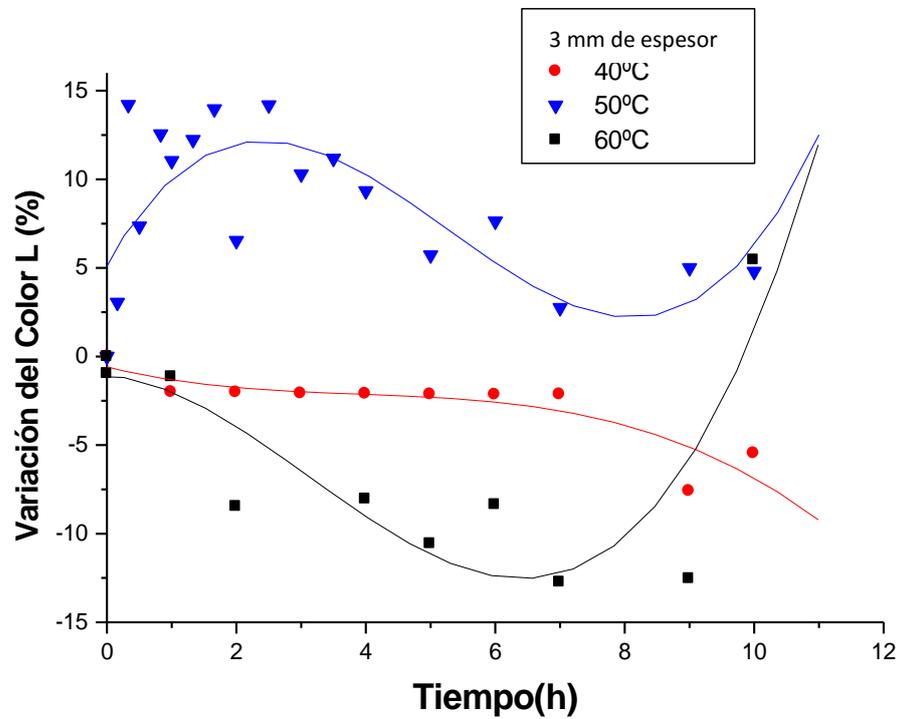


Figura 17. Variación de la luminosidad (L) en función al tiempo para las rodajas de palillo a 3 mm y tres temperaturas de secado.

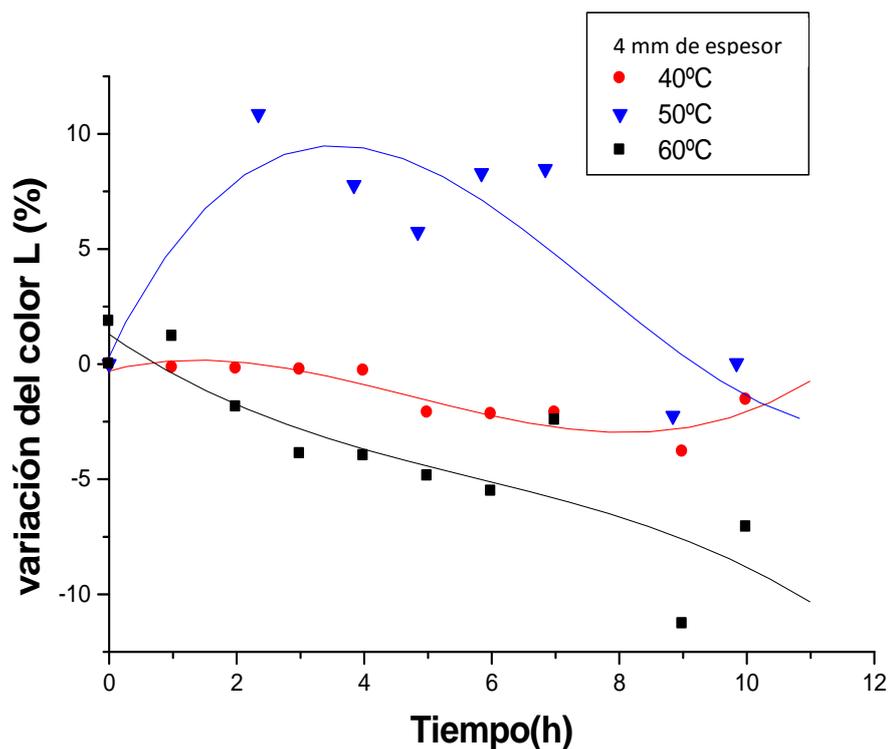


Figura 18. Variación de la luminosidad (L) en función al tiempo para las rodajas de palillo a 4 mm y tres temperaturas de secado.

De la Figura 20, 21 y 22 se observa el comportamiento del parámetro a^* o cromaticidad, este varió en el intervalo de tiempo evaluado. Las primeras horas de proceso de secado no se observaron diferencias significativas entre los nueve tratamientos efectuados. Durante 5 horas los tratamientos 2, 4 y 7 no presentaron diferencias significativas mientras que los tratamientos 3, 6 y 9 sí. A nueve horas, la mayoría presentó diferencias significativas y obtuvo el menor valor de a^* ; es decir, disminuyó su intensidad de color rojo. El tratamiento de 2 mm de espesor de la rodaja de palillo secado a 60°C (T3) no presentó diferencias significativas entre sí, fue el tratamiento que se obtuvo el mayor valor de a^* ; es decir, que fueron los que presentaron un color rojo más intenso transcurrido las diez horas de proceso.

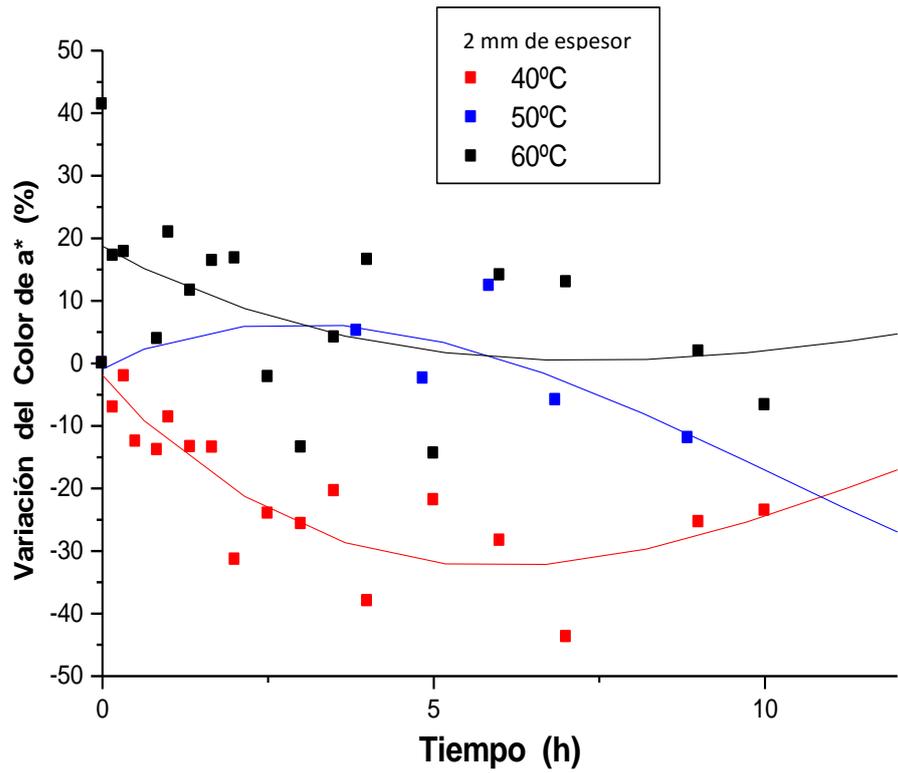


Figura 19. Variación de la cromaticidad (a^*) en función al tiempo para rodajas de palillo a 2 mm y tres temperaturas de secado.

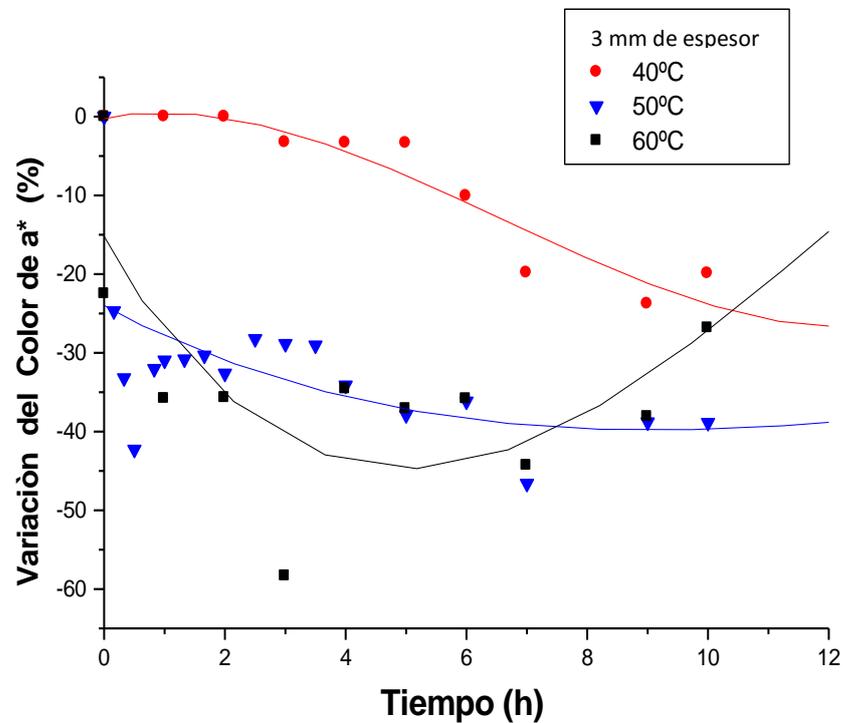


Figura 20. Variación de la cromaticidad (a^*) en función al tiempo para rodajas de palillo a 3 mm y tres temperaturas de secado.

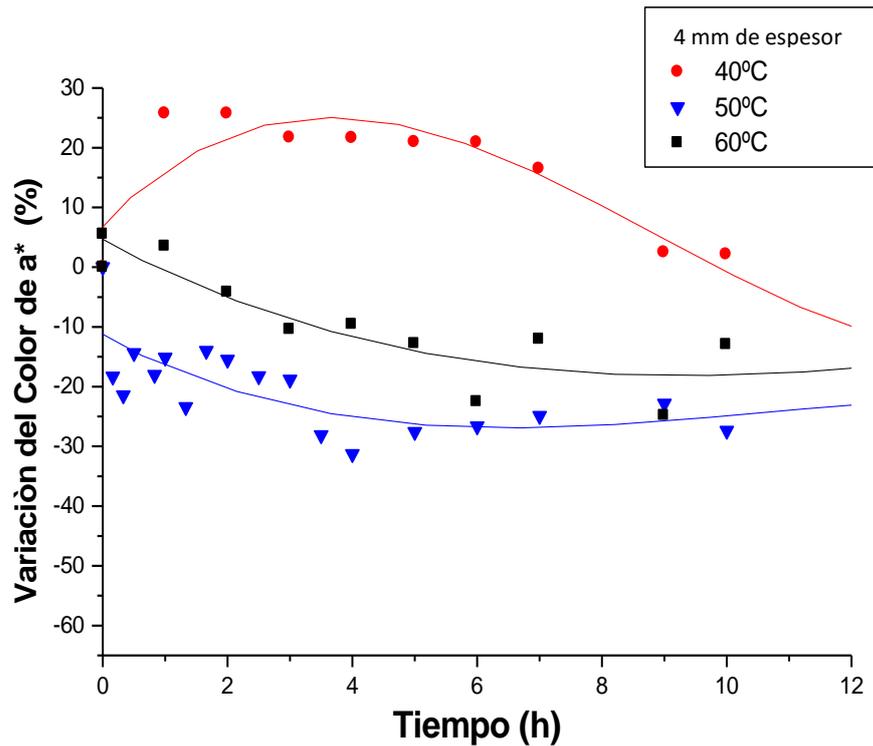


Figura 21. Variación de la cromaticidad (a^*) en función al tiempo para rodajas de palillo a 4 mm y tres temperaturas de secado.

Los valores que adoptó el parámetro b^* se mantuvieron inestables para los nueve tratamientos evaluados durante el proceso de secado (Figura 23, 24 y 25). Desde las primeras horas hasta las diez horas, el tratamiento T7 (espesor de 4 mm secado a 40°C) obtuvo valores de b^* menores que los otros ocho. Esto indicó que los rizomas pertenecientes a este tratamiento eran más oscuros que los rizomas de los otros tratamientos. En los tratamientos T4 (espesor 3 mm secado a 40°C) y T8 (espesor 4 mm secado a 50°C) el parámetro b^* no presentó diferencias significativas en todo el período de tiempo evaluado. El tratamiento T3 (espesor 2mm secado a 60°C) resultó satisfactorio, presentó un color estable en el tiempo de proceso de secado (Figura 23).

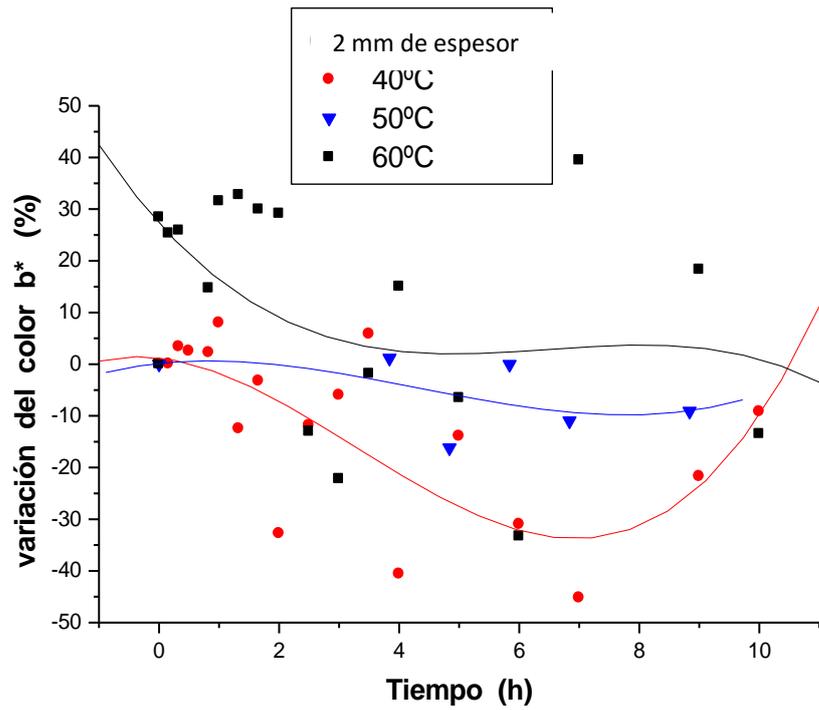


Figura 22. Variación de la cromaticidad (b^*) en función al tiempo para rodajas a 2 mm y tres temperaturas de secado.

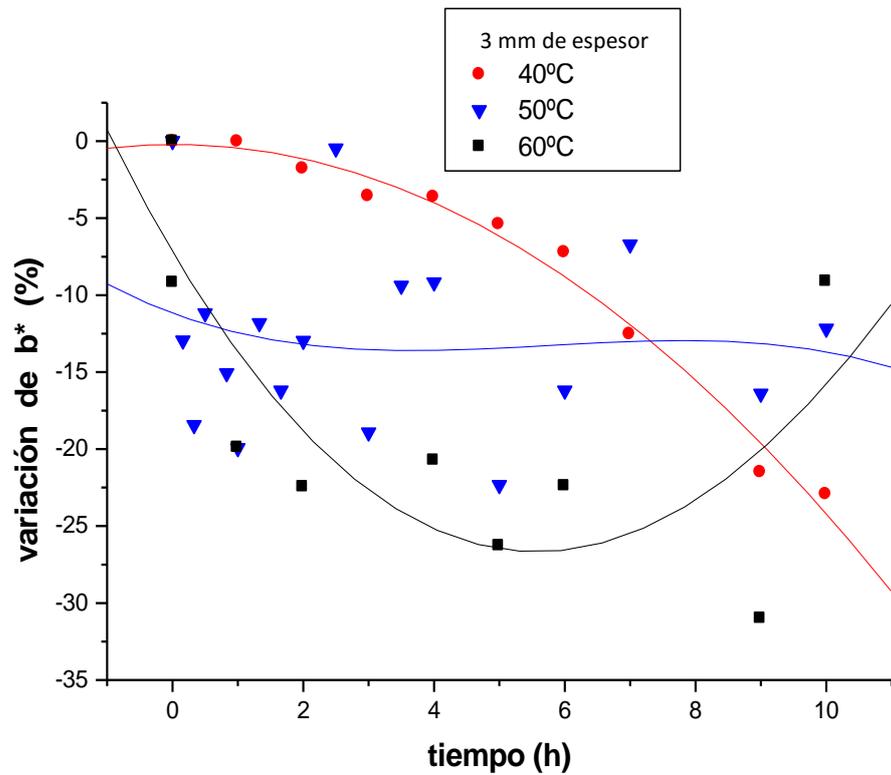


Figura 23. Variación de la cromaticidad (b^*) en función al tiempo para rodajas a 3 mm y tres temperaturas de secado.

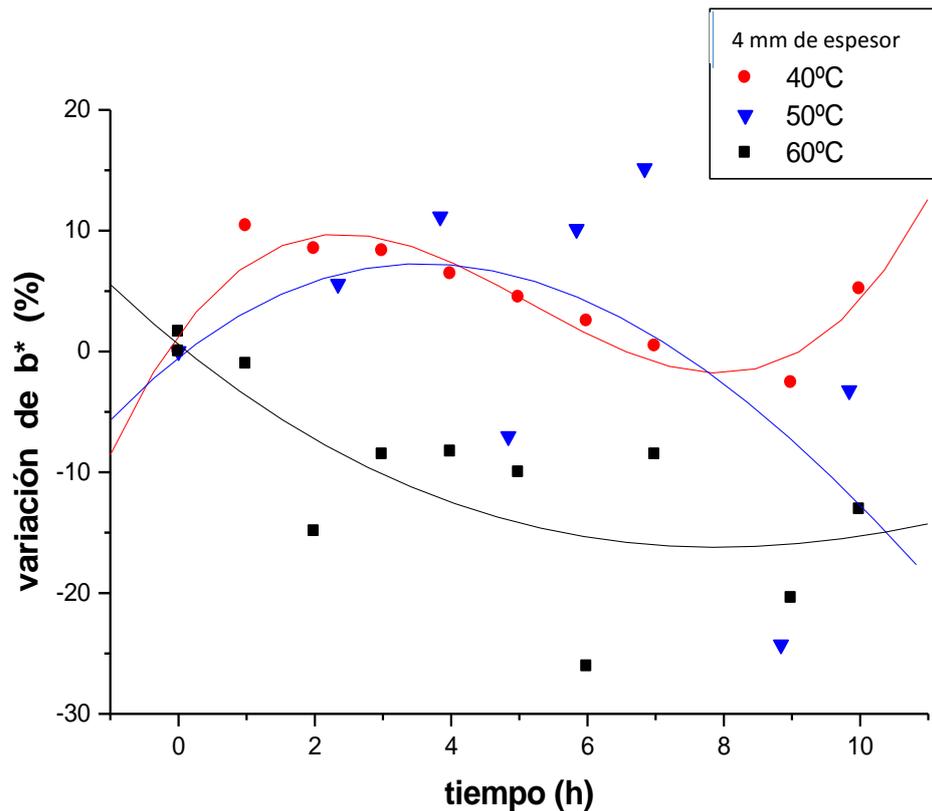


Figura 24. Variación de la cromaticidad (b^*) en función al tiempo para rodajas a 4 mm y tres temperaturas de secado.

Se concluye, el mejor tratamiento fue el que presentó mayores valores de $L^*=59.72$, $a^*=29.14$ y $b^*=56.38$; es decir, que estos presentaron color amarillo anaranjado más intensos y atractivos durante diez horas de secado con flujo de aire caliente, ideales para seguir con el proceso de molienda y obtener una harina de rizomas de palillo de calidad organoléptica. Los tratamientos que tuvieron los menores valores de L , un mayor valor de a^* y un menor valor de b^* , indican un oscurecimiento o pardeamiento, con un color que tiende a ser menos amarillo y más ocre. Chen *et al.* (2007) evaluaron el color de mango secado con aire caliente a 60°C durante 24 horas y reportaron valores de $L=67.68$, $a^*=19.42$ y $b^*=65.97$. Barra, (2009) dice que el color típico de la zanahoria fresca es debido a la presencia de compuestos carotenoides, el mismo reporto valores de $L=67.18$; $a^*=42.18$ y $b^*=68.53$ para la pulpa de zanahorias a 60°C con osmodeshidratación; y Zuluaga *et al.* (2010), reportaron valores de $L=64.13$; $a^*=16.16$ y $b^*=52.81$ para un pulpa de mango a 60°C con osmodeshidratación, siendo mayores a los reportados en el presente

trabajo. Esta diferencia se debe principalmente al índice de madurez, composición fisicoquímica del tipo de alimento y a las condiciones de proceso.

4.2.2. Resultados de secado

En las Figuras 26, 27 y 28 se muestran las cinéticas de deshidratación obtenidas para las rodajas de rizomas de palillo, las cuales siguen los patrones típicos de la deshidratación de los alimentos descritas por Geankoplis (1998). La pérdida de humedad al deshidratar materiales biológicos se describe generalmente en función del tiempo en términos de un decaimiento exponencial, por la que se realizaron cálculos de los cambios de humedad con respecto al tiempo para cada tratamiento como se indica en ítem de Anexos.

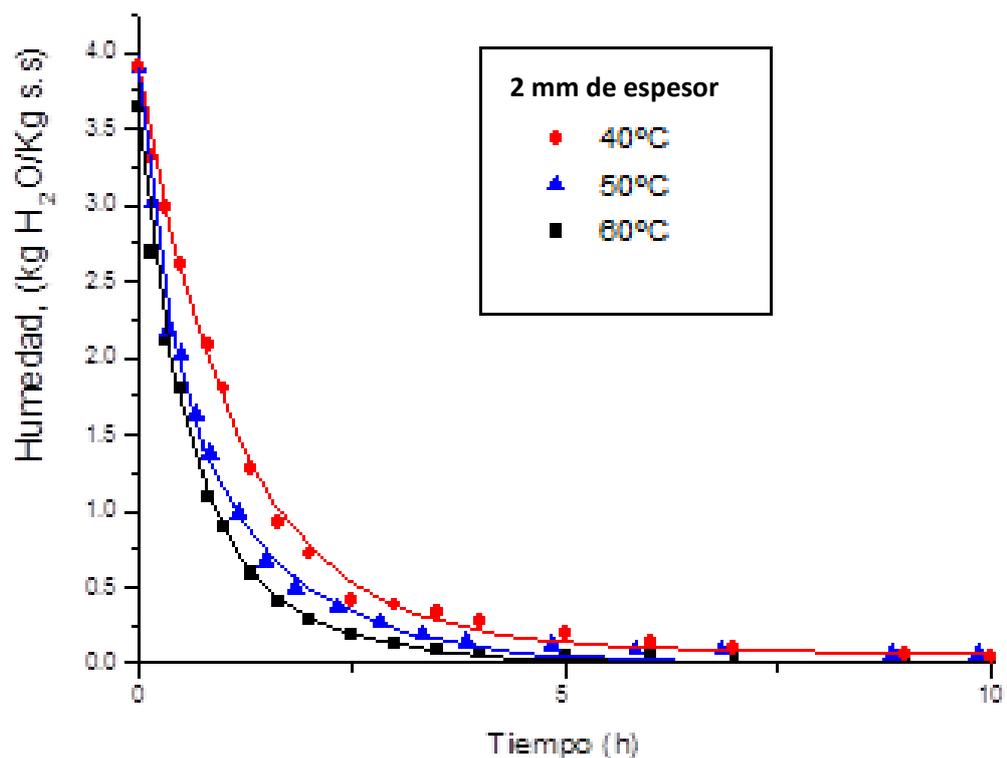


Figura 25. Efecto a 2 mm de espesor de las rodajas de palillo, sobre la cinética de secado para tres temperaturas a velocidad constante de aire 1.2 m/s.

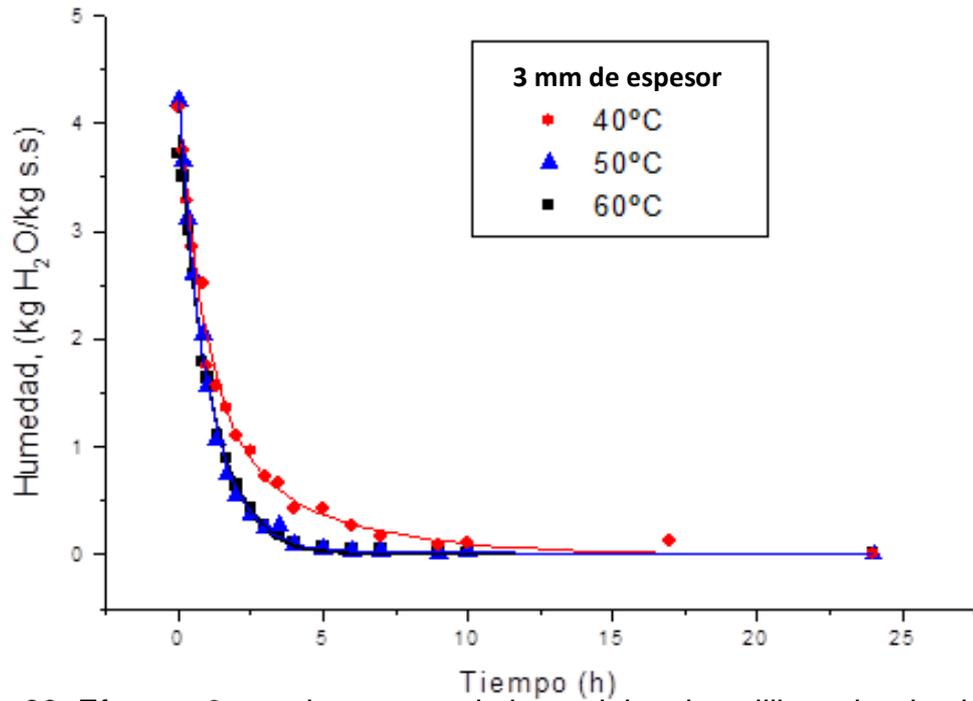


Figura 26. Efecto a 3 mm de espesor de las rodajas de palillo, sobre la cinética de secado para tres temperaturas a velocidad constante de aire 1.2 m/s.

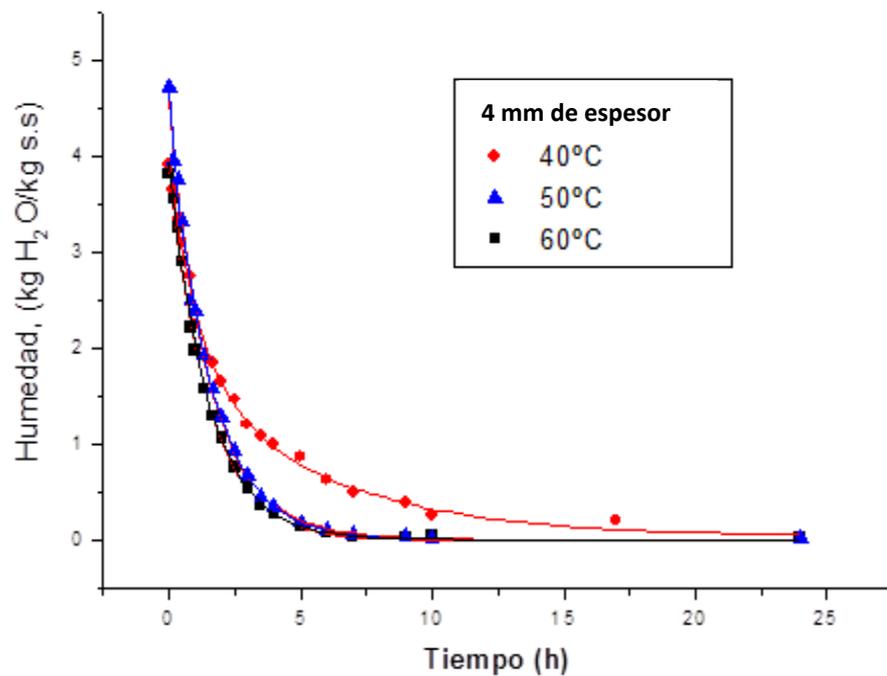


Figura 27. Efecto a 4 mm de espesor de las rodajas de palillo, sobre la cinética de secado para tres temperaturas a velocidad constante de aire 1.2 m/s.

De las Figura 26,27 y 28 se observa que al aumentar la temperatura del aire se incrementó la pendiente de la curva de deshidratación del rizoma de palillo, implicando como consecuencia una disminución en el tiempo de secado. Esto

ocurre por una combinación de dos factores. Primero, un aumento en la temperatura de secado provoca un incremento en la temperatura del producto y en el coeficiente de difusión del agua, consiguiendo que la velocidad de secado sea apreciablemente menor. A esto se suma que a mayor temperatura la humedad relativa del aire es menor, lo que aumenta su capacidad para absorber agua, favoreciendo la remoción de humedad (Bimbenet *et al.* 1998).

Se observó las características típicas de las curvas de deshidratación para rodajas de rizomas de palillo para tres espesores (2, 3 y 4mm), durante el proceso de secado a 40°C, 50°C y 60°C. Se observa que a menos espesor, la velocidad de secado se incrementa significativamente debido a la difusión de la humedad que ocurrió durante el proceso y se reduce el tiempo de secado. En base a las curvas el contenido de humedad final se obtuvo entre 0.016 y 0.05 kg H₂O/kg s.s con un tiempo de secado de 10 horas; esto dependió de las variables espesor y temperatura del aire de secado. Para el rizoma de palillo a espesor de 2 mm y a temperatura de 60°C (T3) el tiempo de secado se redujo en 4 a 5 horas para iniciar la humedad de equilibrio, lo contrario fue para el rizoma de palillo a 4mm de espesor y 40°C fue a 6 horas como mínimo. Los efectos pronunciados entre el espesor y la temperatura del aire de secado sobre el tiempo de secado fue similar a los estudios previos realizados en hojuelas de jengibre secado a dos temperaturas y en dos periodos de tiempo, a 75°C por 90 minutos, enfriamiento a temperatura ambiente por 10 minutos, y finalmente secado a 55°C por 150 minutos (Oswaldo y Torres, 2010); mientras otro trabajo realizado para la pulpa de mango siendo la temperatura óptima de secado por 5.5 horas (Zuluaga *et al.* 2010) y rodajas de carambola optimizaron las variables de secado osmo-convectivo con aire caliente determinando a 100 min de deshidratación osmótica, temperaturas de secado entre 60-65°C a tiempos de secado de 140 minutos (Góngora, 2012).

4.2.3. Velocidad de secado

A continuación se puede apreciar la cinética de secado, relacionando la humedad libre con la velocidad de secado para los nueve tratamientos (Figuras 29, 30 y 31).

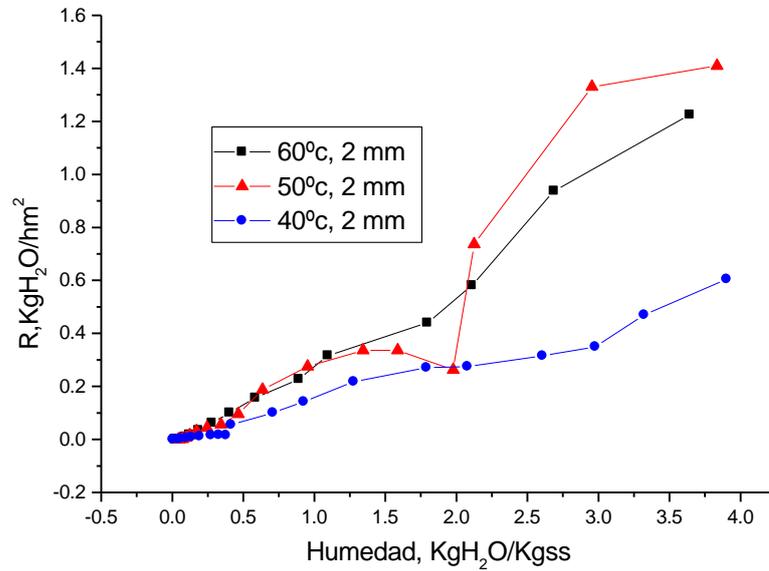


Figura 28. Curvas de velocidad de secado de rodajas de palillo de 2 mm y tres temperaturas de secado a velocidad de aire constante de 1,2 m/s.

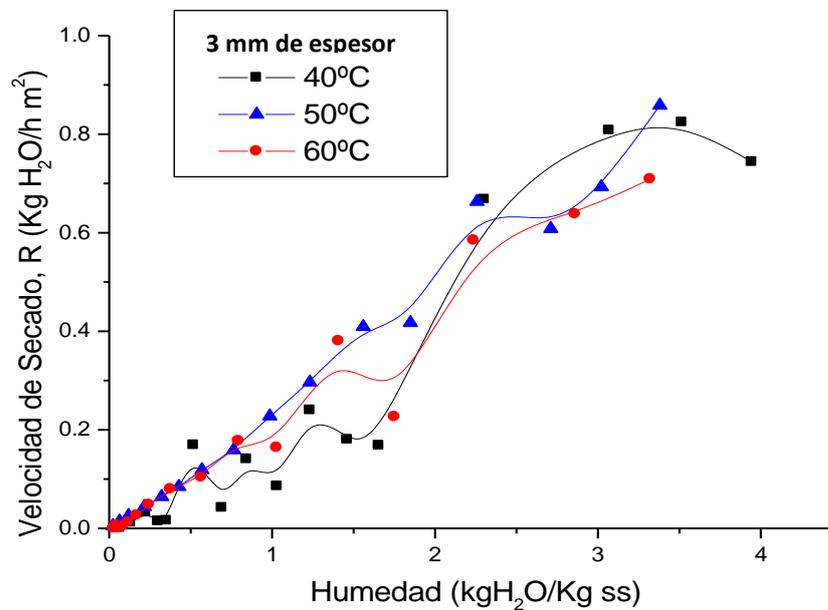


Figura 29. Curvas de velocidad de secado de rodajas de palillo de 3 mm y tres temperaturas de secado a velocidad de aire constante de 1,2 m/s.

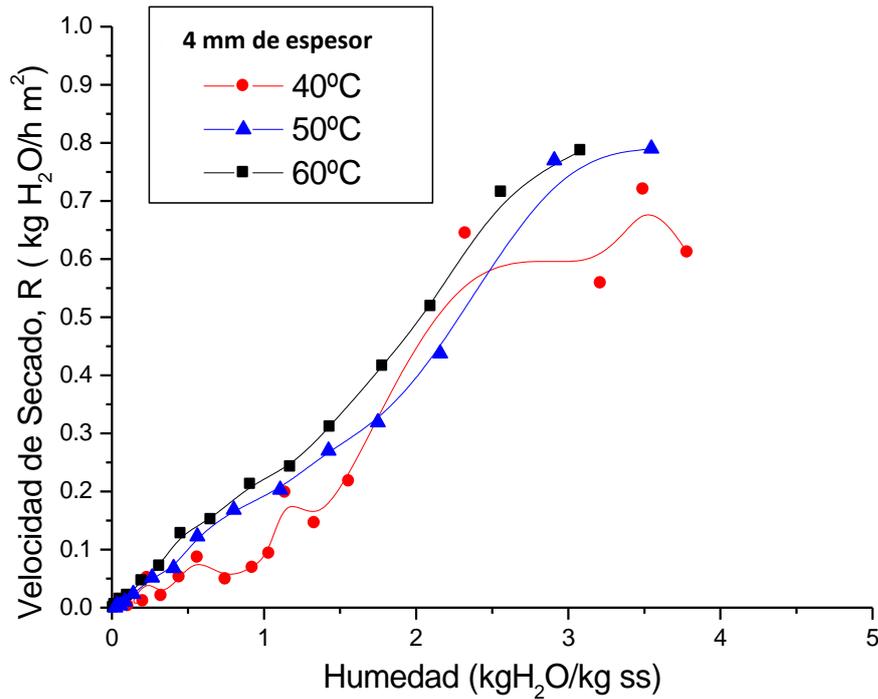


Figura 30. Curvas de velocidad de secado de rodajas de palillo de 4 mm y tres temperaturas de secado a velocidad de aire constante de 1,2 m/s.

De las figuras se observa que la temperatura del aire influye en la velocidad de secado, mientras mayor es la temperatura y menor el espesor de las rodajas, mayor es la velocidad de secado y la evaporación del agua provoca un enfriamiento del aire. Esto explica la reacción de la humedad libre y la velocidad en cada periodo de secado (Fellows, 1994).

Período de inducción. El período transcurre en los primeros 30 minutos. Los resultados indican que el secado a 40°C produjo una pérdida de humedad del 3.33 kg H₂O/kg s.s. La mayor cantidad de agua evaporada a 40°C, enfrió el aire y provocó la caída de la temperatura y la reducción de la velocidad de secado, como se observa en la Figura 30. A 60°C, se observa que la velocidad de secado aumenta ya que la evaporación del agua no es suficiente para enfriar el aire, y a 50 °C se visualiza un leve incremento de la velocidad de secado.

Período de velocidad constante. El período empieza desde los 5 a 6 horas. Según los resultados para el T3 (2 mm y 60°C) el periodo inicio a 0.07 kg H₂O/kg s.s, La mayor cantidad de agua evaporada a 60°C, provocó el

enfriamiento del aire, la caída de la temperatura y velocidad de secado. Aunque el período fue a velocidad constante, se observaron variaciones en la velocidad. Las variaciones de velocidad son debido a que las distintas partes del alimento no se deshidratan a la misma velocidad, por lo que, la velocidad de deshidratación global cambia gradualmente en este periodo (Fellows, 1994).

Periodo de velocidad decreciente. En las figura 29, 30 y 31 se puede observar que para los nueve tratamientos, el periodo empieza en la primera hora de secado, en donde el contenido de humedad sobrepasa el contenido de humedad critica de 0.026 kg H₂O/kg s.s., respectivamente, produciéndose un aumento en la temperatura del sólido y un descenso de la velocidad de secado debido a que no llega suficiente agua a la superficie para mantener la máxima evaporación. La velocidad de secado tiende a hacerse cero conforme se acerca a la humedad de equilibrio (Fellows, 1994).

La humedad de equilibrio alcanzada para la mayoría de los tratamientos fue a 5 horas como mínimo, entre de 0.63 a 0.046 kg H₂O/kg s.s., respectivamente para el T3 y T7. En este periodo se produjo mayor evaporación del agua, siendo menor en cada intervalo de tiempo, en donde la temperatura aumentó hasta alcanzar la temperatura del aire en el deshidratador (Fellows, 1994).

De las gráficas de la velocidad de secado se concluye que el tratamiento tres (T3, 2 mm y 60°C) presentó los valores óptimos de secado con humedad critica promedio de 0,016 kg H₂O/ kg s.s. para una velocidad de aire de 1.2 m/s.

4.2.4. Análisis estadístico del secado de palillo durante 5 horas y 10 horas.

Las superficies respuesta (Figura 31 y 32) fueron generadas a partir de los factores temperatura y espesor, pudiéndose observar que la pérdida de agua aumenta conforme disminuye el espesor de las rodajas de rizomas y aumente la temperatura.

En la Figura 31 es posible observar regiones que permiten lograr bajos porcentajes de humedad y regiones con altos porcentajes de humedad, en

función de exponer al producto a mayor o menor tiempo de secado. Un producto muy seco podría tener problemas de inestabilidad en el almacenamiento, como por ejemplo higroscopicidad. Un producto muy húmedo problemas de enmohecimiento. Por lo que la humedad debe ser intermedia, entre 9 y 14% (región pintada con trazos de color blanco).

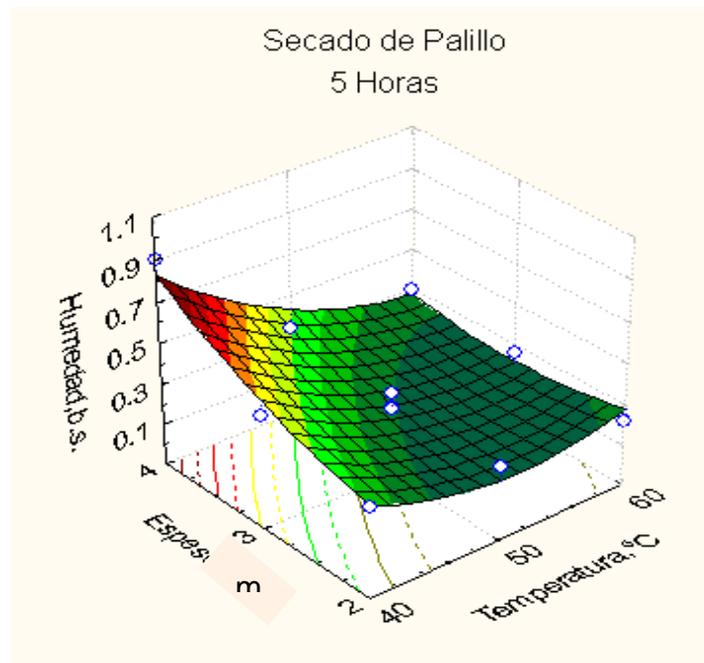


Figura 31. Superficie respuestas: Pérdida de humedad en función de las temperaturas (40, 50 y 60°C) y espesores de rodajas de palillo (2, 3 y 4 mm) durante 5 horas.

En la Figura 32 se muestra la superficie de respuesta que representa la pérdida de humedad en base seca de las rodajas de rizomas de palillo (elegida como la variable de respuesta del proceso) en función de las temperaturas de proceso, y espesor de las rodajas: se observa que el contenido de humedad aumenta a medida que se disminuye la temperatura del medio y espesor de las rodajas del rizoma de palillo durante el proceso de deshidratado con flujo de aire caliente, hasta conseguir su valor óptimo aproximadamente en la combinación $e=2\text{mm}$; $T=60^\circ\text{C}$.

El análisis estadístico obtenido mediante metodología de superficie de respuesta estimó que para maximizar el contenido de humedad en las rodajas de palillo, se debe emplear un tiempo de proceso de 10 horas y una

temperatura de deshidratación de 60°C para rodajas de espesor 2 mm (T3), contenido de humedad de 0.016 kg H₂O/kg s.s. de producto.

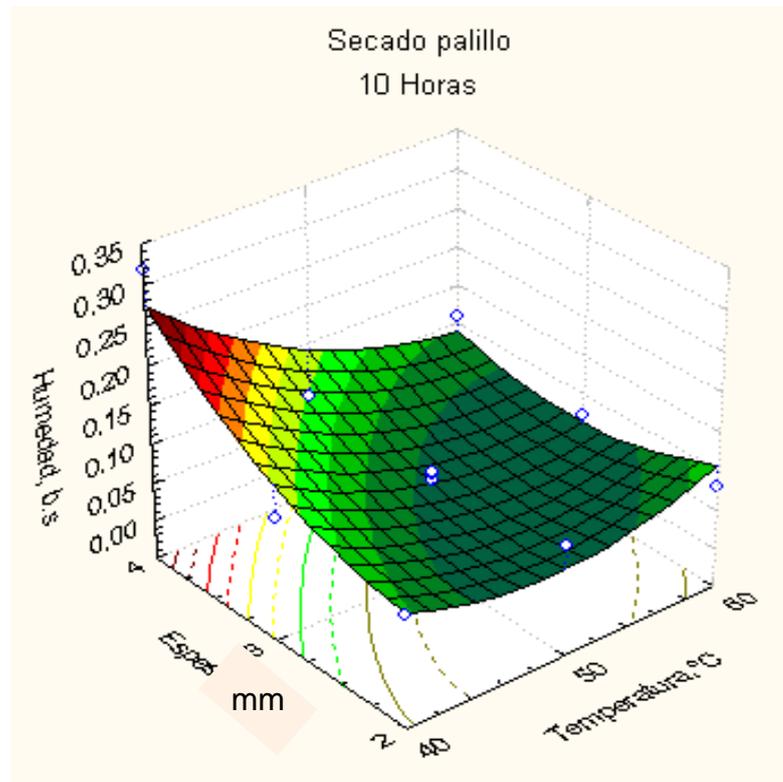


Figura 32. Superficie respuestas: Pérdida de humedad en función de las temperaturas (40, 50 y 60°C) y espesores de rodajas de palillo (2, 3 y 4 mm) durante 10 horas.

4.2.5. Difusividad

De las Figuras 33, 34 y 35 y Cuadro 8 se muestra la difusividad efectiva del agua contenida en las rodajas de rizoma de palillo, puede notarse que aumenta a menor espesor y a medida que se incrementa la temperatura, trayendo consigo una disminución considerable en la resistencia interna del sólido a la migración de la humedad libre. La disminución de la resistencia que aporta el material se puede explicar cómo el efecto que la elevación de la temperatura ejerce sobre la estructura de la matriz sólida, afectando la porosidad del palillo, que produce una mayor migración del agua por área superficial. Los valores de difusividad obtenidos estuvieron entre $22.44 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para espesor de 2 mm a temperatura de 60°C (T3) y de $13.02 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para espesor de 4 mm a

temperatura de 40°C (T7), comparados con otros estudios realizados sobre productos deshidratados (Inga y Velezmoro, 2004) reportaron valores de difusividad para secado de lúcuma (a 2, 3 y 4 mm a 70°C) empleando el método secado por túnel de 9.751×10^{-10} , 1.876×10^{-9} y 2.475×10^{-9} m²/s; para el secado de rodajas de zanahoria por ventana refractante, reportaron de 1.257×10^{-10} a 2.2×10^{-9} m²/s para 35, 45 y 55°C (Kaya *et al.* 2009), comparado el resultado para rodajas de rizoma de palillo secado con la técnica de flujo de aire caliente se obtienen valores de difusividad mayores, lo que significa que la velocidad con la que se da la transferencia de masa en la técnica de flujo de aire es mayor que con el secado convectivo en túnel con aire caliente y ventana refractante.

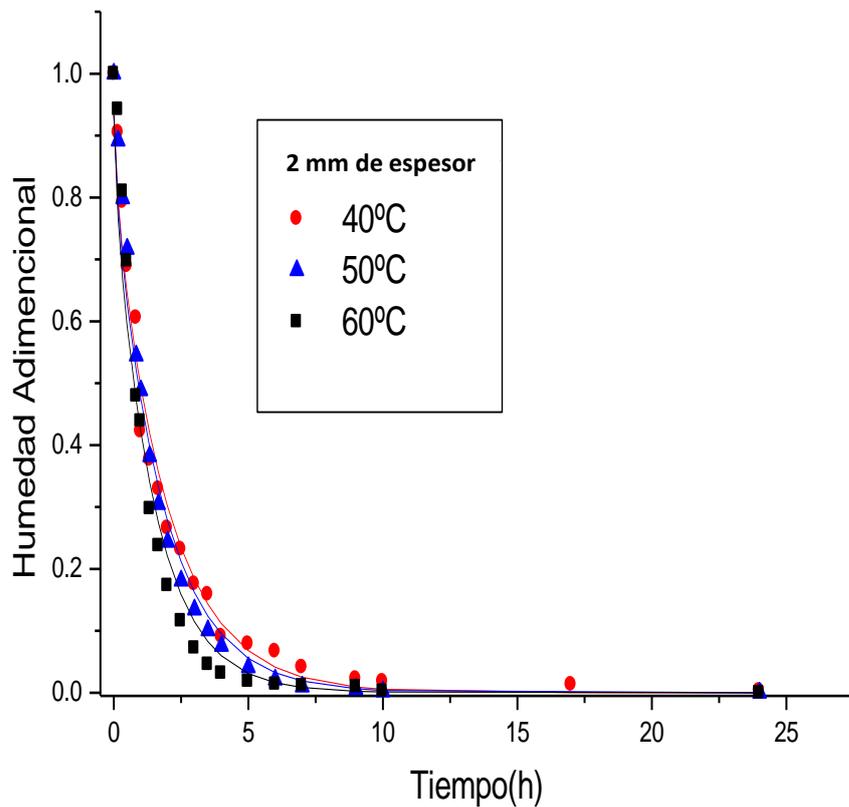


Figura 33. Comportamiento de la difusividad en el secado de rodajas de palillo a espesor de 2 mm y temperaturas de (40, 50 y 60°C).

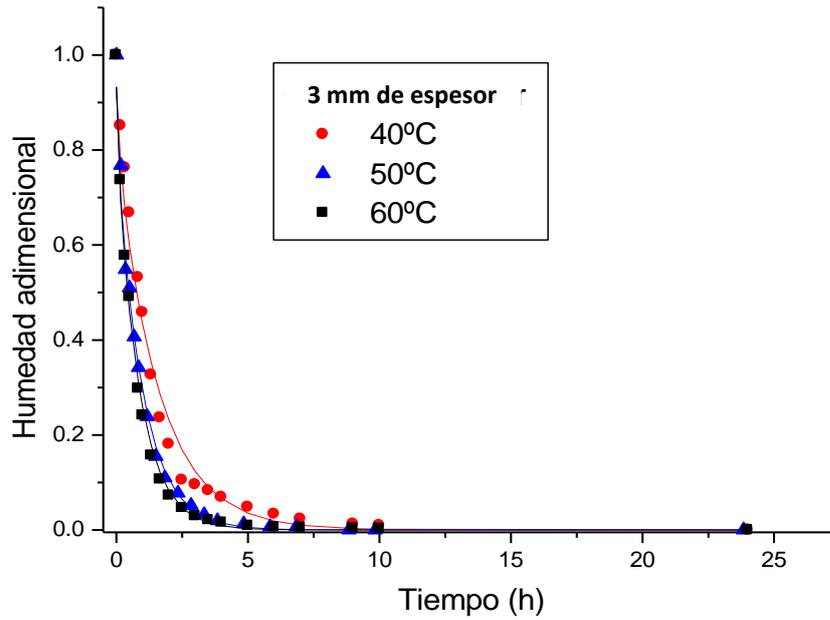


Figura 34. Comportamiento de la difusividad en el secado de rodajas de palillo a espesor de 3 mm y temperaturas de (40, 50 y 60°C).

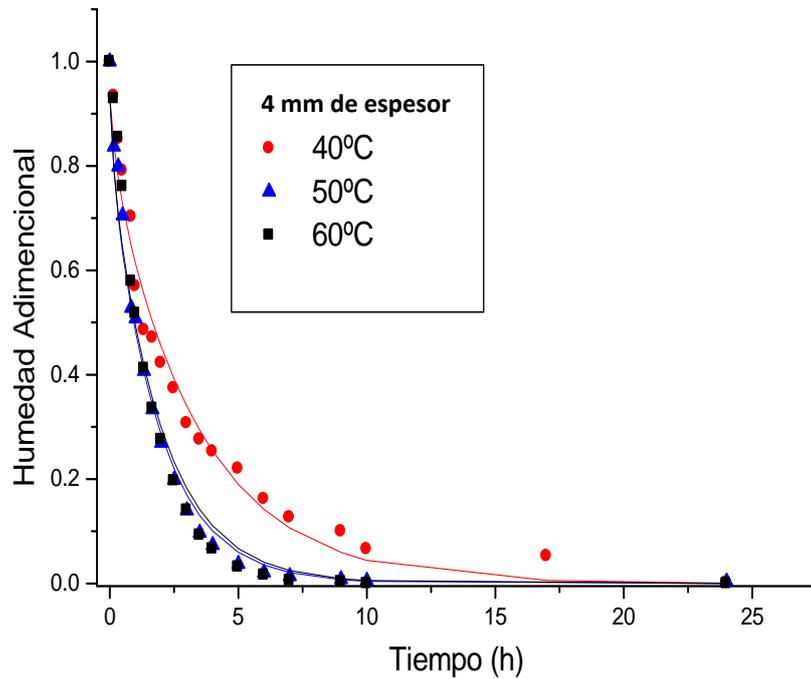


Figura 35. Comportamiento de la difusividad en el secado de rodajas de palillo a espesor de 4 mm y temperaturas de (40, 50 y 60°C).

Cuadro 7. Valores de difusividad en el secado de rodajas de palillo.

Temperatura (°C)	Espesor (mm)	Difusividad x 10 ⁻⁹ (m ² /s)	Coefficiente de correlación (R)
40	2	7.0746	0,98986
40	3	12.5607	0,98939
40	4	13.0239	0,98854
50	2	11.4941	0,99644
50	3	20.7644	0,99499
50	4	13.5974	0,99603
60	2	22.4393	0,99699
60	3	21.2298	0,98125
60	4	23.5086	0,98370

4.2.6. Análisis proximal de rizoma de palillo en polvo.

Cuadro 8. Análisis proximal en 100 gramos de harina de rizomas de palillo.

Componentes	Concentración (%)
Humedad	9.10
Proteínas	10.46
Grasas	2.38
Cenizas	7.07
Fibra	2.59
Carbohidratos	68.40

Esta variación se atribuye al proceso de deshidratado a la que es sometido el rizoma de palillo, ya que al eliminar el agua algunos componentes aumentan sus concentraciones. Como podemos comparar con los datos reportados por el Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (2007) del rizoma de palillo en polvo como se muestra en el Cuadro 09, se observa que los valores obtenidos son similares, solo en cuanto a la humedad se ve una inferioridad

9.10% a 12.30%, esto puede ser debido a la metodología utilizada para el secado y determinación de la humedad o también variedad de palillo.

Cuadro 9. Análisis proximal de la cúrcuma en polvo por IIBI.

Componentes	Concentración (%)
Humedad	12.30
Proteínas	10.18
Grasas	1.37
Cenizas	8.95
Fibra	2.59
Carbohidratos	66.40

Fuentes: Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria- IIBI, (2007).

4.2.7. Análisis de granulometría

Los resultados obtenidos de la granulometría se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Distribución porcentual del tamaño de partículas de palillo.

Tamiz ASTM E	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Retenido (%) acumulado	Peso (%) acumulado
20	0,85	2,50	2,50	97,50
30	0,6	6,91	9,41	90,59
40	0,425	10,42	19,83	80,17
80	0,18	11,71	31,54	68,46
100	0,15	65,01	96,55	3,45
200	0,075	3,27	99,82	0,18
	Fondo	0,18	100,00	0,00
	Total	100,00		

Del análisis granulométrico se obtuvo un 80.17% de polvo de palillo, que pasa en el tamiz N° 40, lo que indica que el tamaño de partícula de harina que pasa es menor a 0.425 mm, que según la Ficha técnica de cúrcuma en polvo de la empresa Micotiimportexport, (2016) puede considerarse adecuado. También se

observa que el 14.08% pasa por el tamiz N°80 con 100 μm de diámetro, este bajo porcentaje acumulado se debe a que la harina obtenida no es fina y por otro lado tampoco fue molida en un molino industrial ya que no es limitante para este fin.

Para visualizar mejor los resultados se graficaron los valores obtenidos por el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje que pasa (Figura 36), observándose que a mayor abertura de tamiz mayor es el pase de la mezcla deduciendo una función directamente proporcional a la abertura de tamiz. Por ejemplo a 0.85 mm el porcentaje de harina de palillo que pasa es de 97.5 % y el porcentaje retenido acumulado 2.50 %.

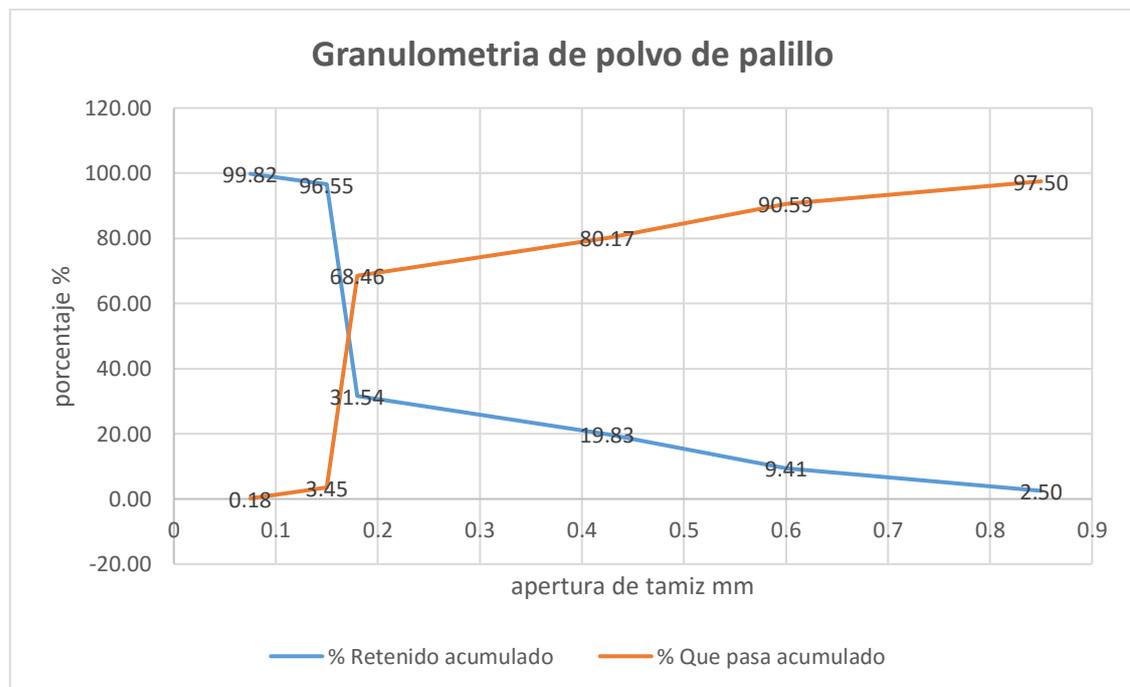


Figura 36. Comportamiento de la harina de palillo en función a % retenido acumulado y % acumulado que pasa en los tamices.

4.3. Balance de materia en el secado de rizomas de palillo.

El balance de materiales se realizó, tomando en cuenta la entrada de materias primas, pérdidas durante el proceso selección, lavado, pelado, picado y secado. En la Figura 37 se muestra el balance de materiales del mejor

tratamiento (T3, rodajas de rizomas de palillo de espesor 2 mm, secado a 60°C por 10 horas).

La mayor parte de pérdidas se produce en los procesos de selección, picado y secado; resultando una pérdida de 82% de peso por la pérdida de agua, luego se obtuvo un rendimiento de 18% la cual está dentro de los mejores resultados obtenidos, gracias a las buenas prácticas de manufactura realizada en su elaboración.

Para el rizoma entero de palillo el ITINTEC, (1982) reporta valores que se mencionan a continuación:

- No deberá contener más de 5% (m/m) de bulbos.
- No deberá contener más del 5% (m/m) de rizomas defectuosos, entre los que se consideran: los bulbos arrugados o doblados, los dañados internamente, los rizomas huecos o porosos, los rizomas chamuscados, debido al curado y otros tipos de rizomas dañados en forma similar.
- Estar libre de cualquier olor mohoso o rancio.

La norma también indica que el palillo entero deberá estar libre de insectos vivos, muertos y/o fragmentados, mohos y de cualquier otro agente contaminante, si estos parámetros comparamos con los datos del balance de materia se observa que en impurezas o rizomas defectuosos no sobrepasa de 3%, esto significa que al momento de adquirir la materia prima se tomó en cuenta los factores de calidad antes mencionados.

En la Figura 37 se muestra el balance de masa en la obtención de rizomas deshidratados. El rendimiento final del proceso fue del 15%.

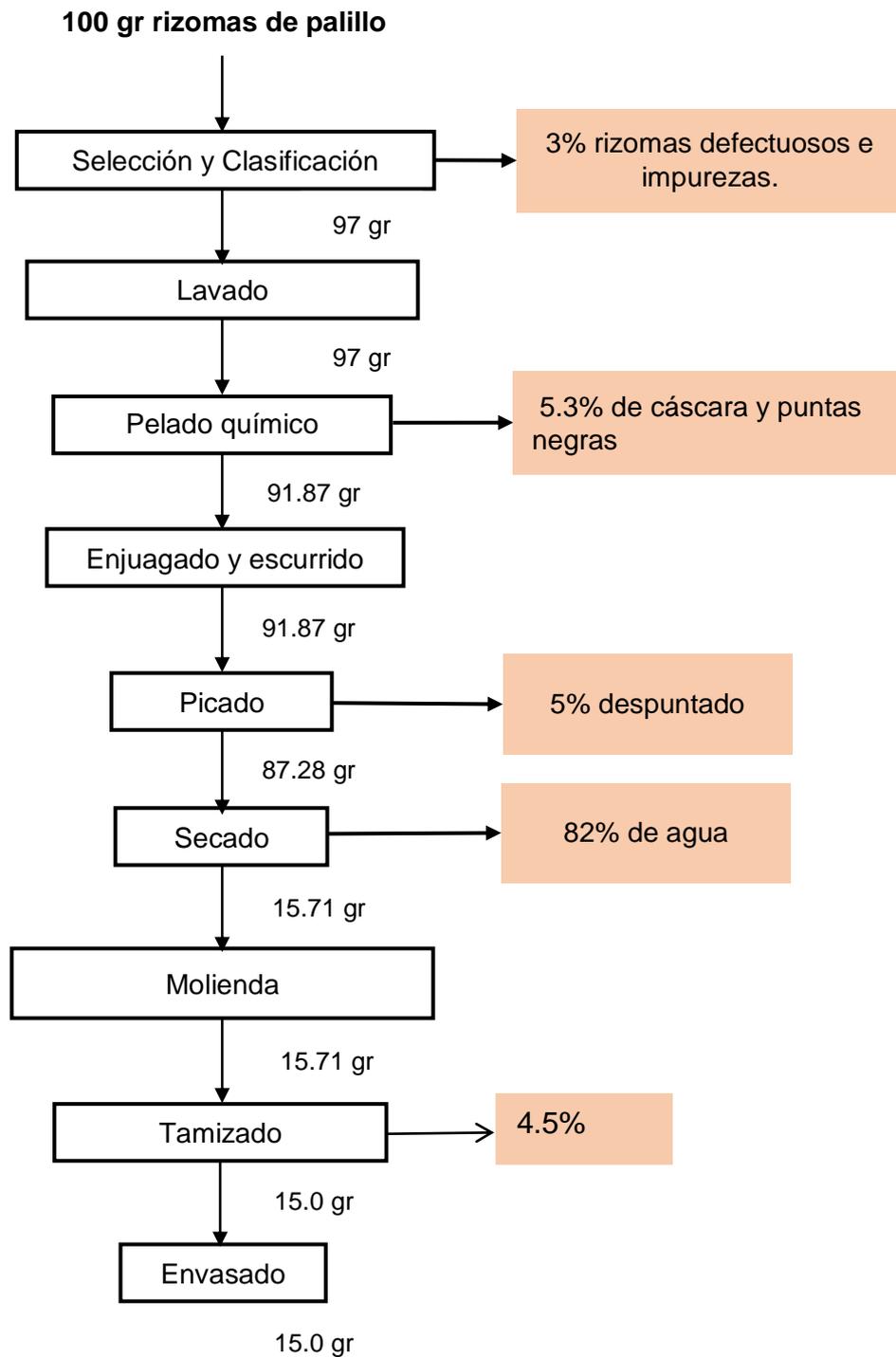


Figura 37. Balance de materia en la deshidratación de rizoma de palillo.

V. CONCLUSIONES

1. Los rizomas de palillo fresco adquiridos presentaron características biométricas de peso promedio 45.3 gramos, diámetro longitudinal de 1.57 centímetros y longitud de 5.92 centímetros.
2. La composición fisicoquímica del rizoma de palillo fresco fue Humedad 83.8 %, Proteínas 2,71 %, Grasas 0,10 %, Cenizas 2,11 % y Carbohidratos 10,45 %.
3. El flujo definitivo de procesamiento de deshidratación de rizomas de palillo fue de la siguiente manera: Selección de la materia prima, lavado, pelado químico, enjuagado y escurrido, picado, secado, molienda/tamizado y envasado.
4. Para el pelado químico de palillo, se concluyó del análisis de los factores de estudio concentración de hidróxido de sodio (NaOH) y tiempo de inmersión mediante gráficas de superficie respuesta; que el tratamiento nueve (6 % de concentración de NaOH y 20 segundos de inmersión a temperatura de 100°C) presentó valores óptimos de 98% de porcentaje de pelado y un puntaje de 8 para puntas negras, el cual fue ideal para continuar con el desarrollo de la investigación.
5. Para el deshidratado de rodajas de rizomas de palillo por flujo de aire caliente, el incremento de la temperatura y el menor espesor de las rodajas influyeron en el tiempo de secado alcanzando una disminución del 78.06% para condiciones de operación a 60°C y espesor de rodajas de 2 mm (T3). La velocidad de secado aumentó conforme se elevó la temperatura de proceso y disminuyó el espesor de las rodajas, alcanzando su valor máximo de 0.0013 KgH₂O/hm², trayendo consigo la reducción del tiempo de sacado y una menor humedad final en la muestra. El periodo predominante en el secado de palillo fue el decreciente, ya que en este transcurre la mayor parte del tiempo de secado.

6. Los resultados de color se obtuvieron por medio de la colorimetría triestímulo, los mayores valores de $L=59.72$, $a^*=29.14$ y $b^*=56.38$ correspondientes al tratamiento tres (T3); el producto presentó color amarillo anaranjado intenso y atractivo luego de las diez horas de secado con flujo de aire caliente
7. La difusividad efectiva de agua presente en las rodajas de rizoma de palillo fue de $22,33 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para el tratamiento tres (espesor 2 mm y temperatura de 60°C) con velocidad del aire de secado a 1.2 m/s. La difusividad estuvo relacionada directamente con la velocidad de secado, es decir a mayor velocidad de secado, mayor difusividad.
8. El modelo matemático utilizado para modelar y simular la cinética de secado (ecuación de Fick para placa plana) presentó buen grado de ajuste para los datos experimentales con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.99$.
9. La composición fisicoquímica del palillo en polvo fue Humedad 9,10 %, Proteínas 10,46 %, Grasas 2,38 %, Cenizas 7,07 %, Fibra 2.59 y Carbohidratos 68,40 %.
10. Del análisis granulométrico se obtuvo un 80.17% de polvo de palillo, que pasa en el tamiz N° 40, lo que indica que el tamaño de partícula de polvo que pasa es menor a 0.425 mm, valor que está dentro del límite que indica la Norma Técnica Peruana para especies de palillo y la ficha técnica de la empresa MICOTI impor export.
11. El rendimiento de rizoma de palillo deshidratado con respecto a la materia prima fue de 15 %.

VI. RECOMENDACIONES

1. Continuar trabajando en la optimización del proceso de deshidratación de palillo, con el fin de obtener cada vez un mejor producto que pueda competir con otros que existen el mercado.
2. Optimizar los parámetros obtenidos, en este trabajo con otros métodos de secado para así obtener mejores índices de color, calidad organoléptica, rendimiento y nutricional.
3. Realizar la determinación de los principios activos del palillo como el contenido de curcumina, aceites esenciales, entre otros, para garantizar la calidad del palillo en polvo de la región San Martín.
4. Realizar un estudio de la producción de rizomas de palillo en la Región San Martín.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing Materials (1999). C33-C33M-11a: Standard Specification for Concrete Aggregates. En 1999 annual book of ASTM standards, section 4 construction, volume 04.02 concrete and aggregates. West Conshohocken, PA: ASTM.
2. A.O.A.C. (1990). Oficial Métodos of Análisis. Asociación of oficial Agricultura Chemists (11va. Ed.). USA.
3. Barbosa, G. y Vega, H. (1997). Deshidratación de alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.
4. Barra, P.S. (2009). Desarrollo de *snacks* en base a zanahoria (*Daucus carota L.*) variedad ábaco deshidratada osmóticamente para consumidores infantiles, [Tesis]. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
5. Barreiro, M. y Sandoval, B. (2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas (1ra edición). Editorial EQUINOCCIO. Venezuela.
6. Benavides, A.; Hernández, R. E.; Ramirez, H. y Sandoval, A. (2010). Tratado de botánica económica moderna. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, México. ISBN: 968844-050-7.
7. Bravo, L. y Marbuendo, E. (2006). Farmacognosia de las drogas naturales. rizoma de *cúrcuma longa l.* zingiberaceae. España. Pág. 130 – 131.
8. Brennan, *et al.* (1998). Las operaciones de la ingeniería de los alimentos (3ra. edición). Editorial ACRIBIA. España.

9. Bimbenet, J.J; Daudin, J.D; Wolff, E. (1998). Air drying kinetics of biological particles. *In: proceeding Fourth International Drying Simposium, Kyoto. Washington, Dc. 178-185.*
10. Cabieses, F. (1993). *Apuntes de medicina tradicional, Tomo II. Edición). Lima, Perú.*
11. Centros de exportaciones e inversiones Nicaragua, (2012). *Perfil de mercado de cúrcuma. Nicaragua.*
12. Chen, J.P.; Tai, C.Y.; Chen, B.H. (2007). Effects of different drying treatments on the stability of carotenoids in Taiwanese mango (*Mangifera indica L.*). *Food Chemistry. 100: 1005–1010.*
13. Diaz, J. (2002). *Sondeo del mercado mundial de cúrcuma (Cúrcuma longa L.), Bogotá, Colombia.*
14. Dominguez, (1973). *Aceites esenciales. Universidad Nacional Agraria La Molina.*
15. Ducke, A. (2009). *Phytochemical and ethnobotanical. Editorial DATABASES. USA. Pág 1 – 19.*
16. Fellows, P. (1994). *Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y prácticas, Editorial Acribia. Zaragoza, España, pp. 21, 42, 43.*
17. Food-info.net, (2016). *Food-Info.net: Números-E: E100: Curcumina. [online] Available at: <http://www.food-info.net/es/e/e100.htm> [Accessed 3 Feb. 2016].*
18. García, C.; Benítez, P.; Pacheco, I.; Chávez, B.; Cerezo, O. (2001). *Alternativa de desarrollo tecnológico para la recuperación de las fracciones extractables y caracterización de los componentes claves curcumina y cariofilino contenidos en el rizoma de la cúrcuma (Curcuma longa) para su agro industrialización en Guatemala. Guatemala.*

19. García, R.; Juan, E.; López, L.; Fabio, Henao. V.; y Reinaldo. (1986). Diseño de una línea de flujo para la obtención de harina de cúrcuma. [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, 136 p.
20. Geankoplis, (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias (3era edición). Editorial CONTINENTAL. México.
21. Gryniewicz, G. y Slifirski, P. (2012). Curcumin and curcuminoids in quest for medicinal status. *Acta Biochimica Polonica (ABP)*, 59 (2):201-212.
22. Góngora, C. (2012). Secado osmo-convectivo con aire caliente de rodajas de carambolo (*Averrhoa Carambola L.*). [Tesis para optar el grado de Magister]. Universidad Del Valle. Santiago de Cali, Colombia.
23. Herbotecnia.com.ar, (2016). Cultivo de cúrcuma (*Cúrcuma longa*) y usos, herbotecnia. [online] Disponible en: <http://www.herbotecnia.com.ar/exo-curcuma.html> [Consultado 1 Feb. 2016].
24. liap.org.pe, (2016). Cultivo de las plantas medicinales. [En línea] Disponible en: <http://www.iiap.org.pe/publicaciones/CDs/plantas%20medicinales/iiap2/CapituloIII-18.htm#TopOfPage> [Accedido 3 Feb. 2016].
25. Inga, D. y Velezmoro, J. (2004). Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. *Journal of Food Processing and Preservation* 27(2):17–20.
26. Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria, (2007). Resultados y conclusiones del estudio de extracción biotecnológica de colorante de bija y cúrcuma. República Dominicana.
27. ITINTEC 209.199, (1982). Norma Técnica Peruana: Especia y condimentos cúrcuma (palillo). Lima, Perú.

28. ISO 3310/1-2000. (2000). Método del Tipo I con especificaciones de tamizado como en los tamices de ensayo.
29. Judd, Campbell, Kellogg, Stevens, Donoghue. (2002). *Plant Systematic* 2002. Editorial Sinauer. Associates Inc. USA. Pág. 292 – 295.
30. Kaya, A.; Aydin, O. y Demirtas, C. (2009). Análisis experimental y teórico de las zanahorias de secado. *Desalination* 237(2/3): 285-295.
31. Laffita, O. (2012). Avances en la caracterización farmacotológica de la planta medicinal *Curcuma*. Editorial MEDISAN.; Vol.16 N° 1,1- 29.
32. Leon, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales* (3ra Edición). San José, Costa Rica.
33. Martinez, N. (2008). *Termodinámica y cinética de los sistemas alimentarios*. Valencia, España.
34. Medicinasnaturistas.com, (2016). Palillo o cúrcuma propiedades medicinales enfermedades. [En línea] Disponible en: http://www.medicinasnaturistas.com/help/guia_plantas/palillo_usos_curcuma_medicinales_propiedades_enfermedades.php [Accedido 2 Feb. 2016].
35. Micotimportexport-Perú, (2016). Ficha técnica cúrcuma en polvo. [En línea]. <http://www.importexportmicoti.com/>. [Accedido 5 de febrero 2016].
36. Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud-Perú, (2009). *Tablas peruanas de composición de alimentos* (8.ª edición). Lima, Perú.
37. Montaña, C. y Montes, R. (2004). Evaluación sistémica de las potencialidades empresariales a partir de la cúrcuma longa en el departamento de caldas. (pregrado). Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

38. Odar, R. (2009). Operaciones unitarias: El tamizado. [En línea] Industrias-alimentarias.blogspot.pe. Disponible en: <http://industrias-alimentarias.blogspot.pe/2009/04/operaciones-unitarias-el-tamizado.html> [Accedido 5 Feb. 2016].
39. Oswaldo y Torres. (2010). Aprovechamiento de las propiedades funcionales del jengibre (*zingiber officinale*) en la elaboración de condimento en polvo, infusión filtrante y aromatizante para quema directa. Revista Politécnica, 2010, Vol. 29(1): 60–69.
40. Piagentini, A.M. (1999). Conservación de vegetales listos para usar por la tecnología de factores combinados. UNLitoral. Facultad de Ingeniería Química.
41. Proyecto cúrcuma, San Martín (2008). [En línea] <http://www.adjpf-france.com/Espagnol/Proyectos/2008InformeProyectoCurcuma.htm>. Accedido 2 abril 2015].
42. Ríos, E.; Giraldo, G.A.; León, D.F. y Moreno, A. (2008). Estudio del perfil de compuestos volátiles de los rizomas de *Curcuma longa* L. Cultivada en el departamento del Quindío, Colombia. Rev. Invest. Univ. Quindío, 18: 32-37. Armenia – Colombia.
43. SelvaNet, (2016). El azafrán, Palillo, guisador: *cúrcuma longa*. [En línea] Disponible en: <http://selvanet20.blogspot.pe/2010/08/el-azafran-palillo-guisador-curcuma.html> [Accedido 2 Feb. 2016].
44. Sensing, K. (2016). Medidor de Colorimetría CR-400: Konica Minolta Sensing. [En línea] Konica Minolta Sensing Americas. Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/products/cr-400-410-chroma-meter-difference-with-colorimeter/> [Accedido 8 Feb. 2016].
45. Singh, (1998). Introducción a la ingeniería de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

46. Trease y Evans (1991). Farmacognosia (13va edición). Editorial Mc. Graw Hill. México. p. 901.
47. Trigozo, G. (2009). El dorado: asociatividad de pequeños productores en marcha. [en línea] Placeresdelmonte.blogspot.pe. Disponible en: <http://placeresdelmonte.blogspot.pe/2009/11/cas-el-dorado-asociatividad-de-pequenos.html> [Accedido 2 Feb. 2016].
48. Trujillo, N.Y.; Valencia W.; Durán, D. (2008) Evaluación de la influencia del uso de la soda caustica en el pelado sobre la calidad física del durazno (Prunas périca L.).
49. Urfalino, R. y Worlock, H. (2015). Evaluación del color en pulpa de tomates deshidratados dulces para la elaboración de confituras. Argentina
50. Urria, C. (2014). Cúrcuma I (*Curcuma longa L.*). Madrid, España: 84-99, 2014. ISSN: 1989-3620.
51. Valencia, S. (2007). Evaluación de la influencia del uso de la soda caustica en el pelado sobre la calidad física del durazno (*Prunus Persica L.*) para su conservación en almíbar [tesis].Universidad de Pamplona. Colombia.
52. Velasco, C. y Navarro N. (2013). Actividad antibacteriana in vitro del extracto hidroalcohólico de curcuma longa (guisador), mediante el método de macrodilución frente a *staphylococcus aureus* y *escherichia coli*. [Tesis para obtener el título de Pediatría Médica]. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Loreto, Perú.
53. Vistel, M.; Ríos, I.; Freire, A.; Silveira, D. (2003). Curcuma longa L. un estudio integrador. Editorial, INFOGEST. Cuba.
54. Vital, I. (2011). Cúrcuma propiedades. [En línea] Vida Ok. Disponible en: <http://vidaok.com/curcuma-propiedades-usos/> [Accedido 2 Feb. 2016].

55. Wiley, R. (1997). Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Acribia. Zaragoza, España. 360 p.
56. Zhao, J.; Zhang, J.S.; Yang, B.; LV, G. P. y Li, S.P. (2010). Free Radical Scavenging Activity and Characterization of Sesquiterpenoids in Four Species of Curcuma Using a TLC Bioautography Assay and GC-MS Analysis. *Molecules*, 15: 7547-7557. doi:10.3390/molecules15117547.
57. Zuluaga; Cortes, R.; Rodríguez, S. (2010). Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica. [Tesis]. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Secador de flujo de aire caliente



Especificaciones técnicas del secador:

Secador por flujo de aire caliente equipado con termostato, lámpara piloto, 01 interruptores, 01 switch de encendido, un transformador de 220V a 12V, 01 ventiladores de 12V, 01 resistencia, con recirculación de aire del 80 %, potencia de 800 watts y una velocidad de aire de 1,2 m/s.

Anexo 2. Resultados de la evaluación de pelado químico.

Tratamientos	Concentración de NaOH (% p/p)	Tiempo (segundos)	% Pelado	Puntas Oscuras
T1	4	10	15	4
T1	4	10	30	3
T2	4	15	10	2
T2	4	15	40	4
T3	4	20	40	2
T3	4	20	40	4
T4	5	10	70	5
T4	5	10	80	5
T5	5	15	90	4
T5	5	15	95	5
T6	5	20	95	6
T6	5	20	98	7
T7	6	10	95	5
T7	6	10	95	7
T8	6	15	95	7
T8	6	15	98	6
T9	6	20	98	8
T9	6	20	98	9

Anexo 3. Análisis de varianza para la variable repuesta puntas oscuras

					-95.%	+95.%		Std.Err.	-95.%	+95.%
	Effect	Std.Err.	t(12)	p	Cnf.Limt	Cnf.Limt	Coeff.	Coeff.	Cnf.Limt	Cnf.Limt
Mean/Interc.	4,6666667	0,412011027	11,3265577	9,1786E-08	3,76897175	5,56436158	4,66666667	0,41201103	3,76897175	5,56436158
(1)CO_NAOH(L)	2	1,009216785	1,98173478	0,07088795	-0,19889448	4,19889448	1	0,50460839	-0,09944724	2,09944724
CO_NAOH(Q)	1,5	0,874007373	1,71623266	0,11179722	-0,40429848	3,40429848	0,75	0,43700369	-0,20214924	1,70214924
(2)TIEMPO(L)	-0,166667	1,009216785	-0,16514456	0,87157959	-2,36556115	2,03222781	-0,08333333	0,50460839	-1,18278057	1,01611391
TIEMPO(Q)	-0,75	0,874007373	-0,85811633	0,40764144	-2,65429848	1,15429848	-0,375	0,43700369	-1,32714924	0,57714924
1L by 2L	-1	1,236033081	-0,80903983	0,43424052	-3,69308474	1,69308474	-0,5	0,61801654	-1,84654237	0,84654237

Anexo 4. Análisis de varianza para porcentaje de pelado de rizoma de palillo.

					-95.%	+95.%		Std.Err.	-95.%	+95.%		
	Effect	Std.Err.	t(9)	p	Cnf.Limt	Cnf.Limt	Coeff.	Coeff.	Cnf.Limt	Cnf.Limt		
Mean/Interc.	71,2222222	1,97827709	36,0021468	4,871E-11	66,7470485	75,6973959	71,2222222	1,97827709	66,7470485	75,6973959	*	significancia
(1)CO (L)	67,3333333	4,84576944	13,89528209	2,1882E-07	56,3714413	78,2952254	33,6666667	2,42288472	28,1857206	39,14761269	*	significancia
CO (Q)	25,1666667	4,19655944	5,996976104	0,00020325	15,6733897	34,6599437	12,5833333	2,09827972	7,83669484	17,32997183	*	significancia
(2)TIEMPO (L)	14	4,84576944	2,889118058	0,01790998	3,03810795	24,9618921	7	2,42288472	1,51905397	12,48094603	*	significancia
TIEMPO (Q)	0,1666667	4,19655944	0,039715074	0,96918733	-9,32661032	9,65994366	0,0833333	2,09827972	-4,66330516	4,829971828		No significancia
1L by 2L	-7,25	5,93483127	-1,221601705	0,25289012	-20,6755211	6,17552107	-3,625	2,96741564	-10,3377605	3,087760535		No significancia
1L by 2Q	3,125	5,13971465	0,608010408	0,55820961	-8,50184231	14,7518423	1,5625	2,56985732	-4,25092115	7,375921153		No significancia
1Q by 2L	5,625	5,13971465	1,094418734	0,30219493	-6,00184231	17,2518423	2,8125	2,56985732	-3,00092115	8,625921153		No significancia
1Q by 2Q	4,9375	4,45112345	1,109270514	0,29607283	-5,1316408	15,0066408	2,46875	2,22556173	-2,5658204	7,503320401		No significancia

Anexo 5. Análisis de varianza para la pérdida de humedad durante 5 horas.

	SS	df	MS	F	p	
(1)TEMP_A (L)	0,20534274	1	0,20534274	20,6057667	0,00617233	*
TEMP_A (Q)	0,05310157	1	0,05310157	5,32864491	0,06904614	
(2)ESPESOR (L)	0,11720939	1	0,11720939	11,7617471	0,01864481	*
ESPESOR (Q)	0,01341357	1	0,01341357	1,3460266	0,29835603	
1L by 2L	0,0851284	1	0,0851284	8,54247816	0,03290841	*
Error	0,04982652	5	0,0099653			
Total SS	0,54443785	10				

*= existe diferencia significativa

Anexo 6. Análisis de varianza para la pérdida de humedad durante 10 horas.

	SS	df	MS	F	p
(1)TEMP_A (L)	0,01608287	1	0,01608287	5,60731957	0,06411325
TEMP_A (Q)	0,00585396	1	0,00585396	2,04099479	0,2124821
(2)ESPE_B (L)	0,0139433	1	0,0139433	4,86135413	0,07861259
ESPE_B (Q)	0,00456949	1	0,00456949	1,59316012	0,26254661
1L by 2L	0,01376164	1	0,01376164	4,798018	0,08005249
Error	0,01434096	5	0,00286819		
Total SS	0,07231975	10			

*= existe diferencia significativa

Anexo 7. Secado de rizomas de palillo en rodajas a 2 mm de espesor y 40 ° C (T1).

Pm: peso de la muestra

pp: peso de la placa: 13.6834 g

R: velocidad de secado

X: humedad promedio kg H₂O/ Kg b.s

Tiempo(horas)	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0,000	30,563	16,880	3,901	0,604	3,611
0,160	28,565	14,881	3,321	0,336	3,149
0,330	27,383	13,699	2,978	0,363	2,792
0,500	26,106	12,423	2,607	0,267	2,342
0,830	24,282	10,599	2,077	0,282	1,934
1,000	23,292	9,608	1,790	0,259	1,533
1,330	21,526	7,842	1,277	0,178	1,101
1,660	20,314	6,631	0,925	0,106	0,817
2,000	19,569	5,886	0,709	0,098	0,561
2,500	18,553	4,870	0,414	0,012	0,396
3,000	18,427	4,743	0,377	0,016	0,353
3,500	18,259	4,576	0,329	0,018	0,301
4,000	18,072	4,389	0,274	0,014	0,233
5,000	17,790	4,107	0,192	0,010	0,164
6,000	17,592	3,909	0,135	0,007	0,115
7,000	17,456	3,773	0,095	0,004	0,074
9,000	17,309	3,626	0,053	0,002	0,047
10,000	17,273	3,589	0,042	0,000	0,024
24,000	17,147	3,464	0,006		

Anexo 8. Secado de palillo en rodajas a 2 mm de espesor y 50 ° C (T2).

Tiempo(horas)	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0,000	30,563	16,880	3,901	0,604	3,611
0,160	28,565	14,881	3,321	0,336	3,149
0,330	27,383	13,699	2,978	0,363	2,792
0,500	26,106	12,423	2,607	0,267	2,342
0,830	24,282	10,599	2,077	0,282	1,934
1,000	23,292	9,608	1,790	0,259	1,533
1,330	21,526	7,842	1,277	0,178	1,101
1,660	20,314	6,631	0,925	0,106	0,817
2,000	19,569	5,886	0,709	0,098	0,561
2,500	18,553	4,870	0,414	0,012	0,396
3,000	18,427	4,743	0,377	0,016	0,353
3,500	18,259	4,576	0,329	0,018	0,301
4,000	18,072	4,389	0,274	0,014	0,233
5,000	17,790	4,107	0,192	0,010	0,164
6,000	17,592	3,909	0,135	0,007	0,115
7,000	17,456	3,773	0,095	0,004	0,074
9,000	17,309	3,626	0,053	0,002	0,047
10,000	17,273	3,589	0,042	0,000	0,024
24,000	17,147	3,464	0,006		

Tiempo	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0,000	33,400	19,800	3,833	1,326	3,394
0,170	29,800	16,200	2,954	1,252	2,540
0,340	26,400	12,800	2,125	0,235	2,051
0,500	25,800	12,200	1,978	0,589	1,783
0,670	24,200	10,600	1,588	0,368	1,465
0,840	23,200	9,600	1,343	0,304	1,148
1,170	21,600	8,000	0,953	0,247	0,794
1,500	20,300	6,700	0,635	0,129	0,550
1,840	19,600	6,000	0,465	0,063	0,404
2,340	19,100	5,500	0,343	0,050	0,294
2,840	18,700	5,100	0,245	0,038	0,208
3,340	18,400	4,800	0,172	0,025	0,147
3,840	18,200	4,600	0,123	0,006	0,111
4,840	18,100	4,500	0,098	0,006	0,086
5,840	18,000	4,400	0,074	0,000	0,074
6,840	18,000	4,400	0,074	0,003	0,062
8,840	17,900	4,300	0,050	0,000	0,050
9,840	17,900	4,300	0,050	0,000	0,050
23,840	17,900	4,300	0,050	-0,001	0,025

Anexo 9. Secado de palillo en rodajas a 2 mm de espesor y 60 ° C (T3).

Tiempo(horas)	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0,000	30,563	16,880	3,901	0,604	3,611
0,160	28,565	14,881	3,321	0,336	3,149
0,330	27,383	13,699	2,978	0,363	2,792
0,500	26,106	12,423	2,607	0,267	2,342
0,830	24,282	10,599	2,077	0,282	1,934
1,000	23,292	9,608	1,790	0,259	1,533
1,330	21,526	7,842	1,277	0,178	1,101
1,660	20,314	6,631	0,925	0,106	0,817
2,000	19,569	5,886	0,709	0,098	0,561
2,500	18,553	4,870	0,414	0,012	0,396
3,000	18,427	4,743	0,377	0,016	0,353
3,500	18,259	4,576	0,329	0,018	0,301
4,000	18,072	4,389	0,274	0,014	0,233
5,000	17,790	4,107	0,192	0,010	0,164
6,000	17,592	3,909	0,135	0,007	0,115
7,000	17,456	3,773	0,095	0,004	0,074
9,000	17,309	3,626	0,053	0,002	0,047
10,000	17,273	3,589	0,042	0,000	0,024
24,000	17,147	3,464	0,006		

Tiempo	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	Xprom
0,000	33,675	20,001	3,642	1,223	3,165
0,160	29,558	15,884	2,687	0,695	2,398
0,330	27,071	13,397	2,110	0,379	1,952
0,500	25,716	12,042	1,795	0,434	1,445
0,830	22,702	9,028	1,095	0,247	0,993
1,000	21,818	8,144	0,890	0,189	0,738
1,330	20,503	6,829	0,585	0,113	0,494
1,660	19,717	6,043	0,403	0,074	0,341
2,000	19,186	5,512	0,279	0,039	0,232
2,500	18,777	5,103	0,184	0,026	0,153
3,000	18,502	4,828	0,121	0,012	0,106
3,500	18,375	4,701	0,091	0,008	0,081
4,000	18,291	4,617	0,072	0,005	0,059
5,000	18,182	4,508	0,046	0,002	0,041
6,000	18,137	4,463	0,036	0,000	0,035
7,000	18,127	4,454	0,034	0,001	0,031
9,000	18,101	4,427	0,028	0,000	0,027
10,000	18,093	4,419	0,026	0,000	0,021
24,000	18,051	4,378	0,016	0,000	0,008

Anexo 10. Secado de palillo en rodajas a 3 mm de espesor y 40 ° C (T4).

Tiempo(horas)	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0,000	30,563	16,880	3,901	0,604	3,611
0,160	28,565	14,881	3,321	0,336	3,149
0,330	27,383	13,699	2,978	0,363	2,792
0,500	26,106	12,423	2,607	0,267	2,342
0,830	24,282	10,599	2,077	0,282	1,934
1,000	23,292	9,608	1,790	0,259	1,533
1,330	21,526	7,842	1,277	0,178	1,101
1,660	20,314	6,631	0,925	0,106	0,817
2,000	19,569	5,886	0,709	0,098	0,561
2,500	18,553	4,870	0,414	0,012	0,396
3,000	18,427	4,743	0,377	0,016	0,353
3,500	18,259	4,576	0,329	0,018	0,301
4,000	18,072	4,389	0,274	0,014	0,233
5,000	17,790	4,107	0,192	0,010	0,164
6,000	17,592	3,909	0,135	0,007	0,115
7,000	17,456	3,773	0,095	0,004	0,074
9,000	17,309	3,626	0,053	0,002	0,047
10,000	17,273	3,589	0,042	0,000	0,024
24,000	17,147	3,464	0,006		

tiempo	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0	42,152	28,451	4,143	0,744	3,946
0,16	39,971	26,270	3,748	0,824	3,516
0,33	37,404	23,702	3,284	0,808	3,070
0,49	35,035	21,334	2,856	0,667	2,303
0,99	28,919	15,218	1,751	0,168	1,656
1,33	27,871	14,169	1,561	0,180	1,463
1,66	26,783	13,081	1,364	0,240	1,233
1,99	25,332	11,631	1,102	0,085	1,032
2,49	24,549	10,847	0,961	0,141	0,844
2,99	23,260	9,559	0,728	0,042	0,693
3,49	22,876	9,174	0,658	0,169	0,518
3,99	21,327	7,626	0,378	0,016	0,352
4,99	21,038	7,337	0,326	0,015	0,302
5,99	20,769	7,068	0,278	0,032	0,224
6,99	20,182	6,480	0,171	0,012	0,132
8,99	19,751	6,049	0,093	0,006	0,084
9,99	19,650	5,948	0,075	0,001	0,065
16,99	19,533	5,832	0,054	0,002	0,034
23,99	19,308	5,607	0,013		

tiempo	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0	42,152	28,451	4,143	0,744	3,946
0,16	39,971	26,270	3,748	0,824	3,516
0,33	37,404	23,702	3,284	0,808	3,070
0,49	35,035	21,334	2,856	0,667	2,303
0,99	28,919	15,218	1,751	0,168	1,656
1,33	27,871	14,169	1,561	0,180	1,463
1,66	26,783	13,081	1,364	0,240	1,233
1,99	25,332	11,631	1,102	0,085	1,032
2,49	24,549	10,847	0,961	0,141	0,844
2,99	23,260	9,559	0,728	0,042	0,693
3,49	22,876	9,174	0,658	0,169	0,518
3,99	21,327	7,626	0,378	0,016	0,352
4,99	21,038	7,337	0,326	0,015	0,302
5,99	20,769	7,068	0,278	0,032	0,224
6,99	20,182	6,480	0,171	0,012	0,132
8,99	19,751	6,049	0,093	0,006	0,084
9,99	19,650	5,948	0,075	0,001	0,065
16,99	19,533	5,832	0,054	0,002	0,034
23,99	19,308	5,607	0,013		

Anexo 11. Secado de palillo en rodajas a 3 mm de espesor y 50 ° C (T5).

Tiempo(horas)	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0,000	30,563	16,880	3,901	0,604	3,611
0,160	28,565	14,881	3,321	0,336	3,149
0,330	27,383	13,699	2,978	0,363	2,792
0,500	26,106	12,423	2,607	0,267	2,342
0,830	24,282	10,599	2,077	0,282	1,934
1,000	23,292	9,608	1,790	0,259	1,533
1,330	21,526	7,842	1,277	0,178	1,101
1,660	20,314	6,631	0,925	0,106	0,817
2,000	19,569	5,886	0,709	0,098	0,561
2,500	18,553	4,870	0,414	0,012	0,396
3,000	18,427	4,743	0,377	0,016	0,353
3,500	18,259	4,576	0,329	0,018	0,301
4,000	18,072	4,389	0,274	0,014	0,233
5,000	17,790	4,107	0,192	0,010	0,164
6,000	17,592	3,909	0,135	0,007	0,115
7,000	17,456	3,773	0,095	0,004	0,074
9,000	17,309	3,626	0,053	0,002	0,047
10,000	17,273	3,589	0,042	0,000	0,024
24,000	17,147	3,464	0,006		

tiempo	Pm+pp	Pm	Hum b.s	$R=\Delta X/\Delta t$ (Ls/A)	X prom
0,000	40,284	26,563	3,831	1,163	3,471
0,160	36,323	22,602	3,111	0,849	2,831
0,330	33,252	19,531	2,552	0,364	2,432
0,500	31,936	18,215	2,313	0,804	1,800
0,830	26,294	12,573	1,287	0,104	1,252
1,000	25,917	12,196	1,218	0,276	1,042
1,330	23,981	10,260	0,866	0,172	0,756
1,660	22,776	9,055	0,647	0,121	0,567
2,000	21,900	8,179	0,487	0,074	0,416
2,500	21,110	7,389	0,344	0,066	0,280
3,000	20,404	6,683	0,215	0,029	0,188
3,500	20,099	6,378	0,160	0,028	0,133
4,000	19,801	6,080	0,106	0,010	0,087
5,000	19,593	5,872	0,068	0,005	0,059
6,000	19,493	5,772	0,050	0,002	0,045
7,000	19,443	5,722	0,041	0,001	0,035
9,000	19,381	5,660	0,029	0,000	0,029
10,000	19,372	5,651	0,028	0,000	0,023
24,000	19,318	5,597	0,018		0,009

Anexo 12. Secado de palillo en rodajas a 3 mm de espesor y 60 ° C (T6).

Tiempo(horas)	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	$R=DX/Dt$ (Ls/A)	X prom
0,000	30,563	16,880	3,901	0,604	3,611
0,160	28,565	14,881	3,321	0,336	3,149
0,330	27,383	13,699	2,978	0,363	2,792
0,500	26,106	12,423	2,607	0,267	2,342
0,830	24,282	10,599	2,077	0,282	1,934
1,000	23,292	9,608	1,790	0,259	1,533
1,330	21,526	7,842	1,277	0,178	1,101
1,660	20,314	6,631	0,925	0,106	0,817
2,000	19,569	5,886	0,709	0,098	0,561
2,500	18,553	4,870	0,414	0,012	0,396
3,000	18,427	4,743	0,377	0,016	0,353
3,500	18,259	4,576	0,329	0,018	0,301
4,000	18,072	4,389	0,274	0,014	0,233
5,000	17,790	4,107	0,192	0,010	0,164
6,000	17,592	3,909	0,135	0,007	0,115
7,000	17,456	3,773	0,095	0,004	0,074
9,000	17,309	3,626	0,053	0,002	0,047
10,000	17,273	3,589	0,042	0,000	0,024
24,000	17,147	3,464	0,006		

tiempo	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	Xprom
0	46,3636	32,7247	3,81525991	0,593924186	3,68042403
0,16	44,5309	30,892	3,54558816	0,588481706	3,40363786
0,33	42,6015	28,9626	3,26168755	0,786227679	3,0831939
0,49	40,1754	26,5365	2,90470026	0,714922616	2,55980089
0,83	35,4875	21,8486	2,21490151	0,518091666	2,09728155
0,99	33,8888	20,2499	1,97966159	0,415832142	1,77905212
1,33	31,1621	17,5232	1,57844266	0,310950649	1,43284316
1,66	29,1831	15,5442	1,28724367	0,242066989	1,17389826
1,99	27,6425	14,0036	1,06055284	0,212341426	0,90990629
2,49	25,5949	11,956	0,75925975	0,151198378	0,6519914
2,99	24,1369	10,498	0,54472305	0,127502336	0,45426597
3,49	22,9074	9,2685	0,36380888	0,071388864	0,31316174
3,99	22,219	8,5801	0,2625146	0,046246171	0,19689551
4,99	21,3271	7,6882	0,13127641	0,020693852	0,10191373
5,99	20,928	7,2891	0,07255104	0,014253921	0,05232603
6,99	20,6531	7,0142	0,03210101	0,001296282	0,0284224
8,99	20,6031	6,9642	0,02474379	0,005029576	0,01760728
9,99	20,5061	6,8672	0,01047077	1,85183E-06	0,01043398
23,99	20,5056	6,8667	0,0103972		

Anexo 13. Secado de palillo en rodajas a 4 mm de espesor y 40 °C (T7).

Tiempo(horas)	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0,000	30,563	16,880	3,901	0,604	3,611
0,160	28,565	14,881	3,321	0,336	3,149
0,330	27,383	13,699	2,978	0,363	2,792
0,500	26,106	12,423	2,607	0,267	2,342
0,830	24,282	10,599	2,077	0,282	1,934
1,000	23,292	9,608	1,790	0,259	1,533
1,330	21,526	7,842	1,277	0,178	1,101
1,660	20,314	6,631	0,925	0,106	0,817
2,000	19,569	5,886	0,709	0,098	0,561
2,500	18,553	4,870	0,414	0,012	0,396
3,000	18,427	4,743	0,377	0,016	0,353
3,500	18,259	4,576	0,329	0,018	0,301
4,000	18,072	4,389	0,274	0,014	0,233
5,000	17,790	4,107	0,192	0,010	0,164
6,000	17,592	3,909	0,135	0,007	0,115
7,000	17,456	3,773	0,095	0,004	0,074
9,000	17,309	3,626	0,053	0,002	0,047
10,000	17,273	3,589	0,042	0,000	0,024
24,000	17,147	3,464	0,006		

Tiempo	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0	48,3656	34,6871	3,91281331	0,611424692	3,78379338
0,16	46,5437	32,8652	3,65477345	0,719741677	3,4934047
0,33	44,265	30,5865	3,33203596	0,558266082	3,2142333
0,49	42,6015	28,923	3,09643065	0,386339594	2,92319311
0,83	40,1552	26,4767	2,74995558	0,643702439	2,32548362
1,33	34,1612	20,4827	1,90101165	0,065329605	1,87257897
1,66	33,7597	20,0812	1,84414629	0,217320598	1,74956425
1,99	32,4241	18,7456	1,65498221	0,145375374	1,55911839
2,49	31,0704	17,3919	1,46325458	0,197792985	1,3328254
2,99	29,2286	15,5501	1,20239623	0,092764459	1,14122525
3,49	28,3648	14,6863	1,08005426	0,06841889	1,0349373
3,99	27,7277	14,0492	0,98982033	0,048857595	0,92538472
4,99	26,8178	13,1393	0,86094911	0,0860901	0,74740959
5,99	25,2145	11,536	0,63387007	0,051966568	0,5653342
6,99	24,2467	10,5682	0,49679834	0,019819033	0,44452186
8,99	23,5085	9,83	0,39224538	0,050645657	0,3254516
9,99	22,5653	8,8868	0,25865781	0,002843564	0,23240627
16,99	22,1946	8,5161	0,20615472	0,010742181	0,10698379
23,99	20,7942	7,1157	0,00781287		

Anexo 14. Secado de palillo en rodajas a 4 mm de espesor y 50 ° C (T8).

Tiempo(horas)	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0,000	30,563	16,880	3,901	0,604	3,611
0,160	28,565	14,881	3,321	0,336	3,149
0,330	27,383	13,699	2,978	0,363	2,792
0,500	26,106	12,423	2,607	0,267	2,342
0,830	24,282	10,599	2,077	0,282	1,934
1,000	23,292	9,608	1,790	0,259	1,533
1,330	21,526	7,842	1,277	0,178	1,101
1,660	20,314	6,631	0,925	0,106	0,817
2,000	19,569	5,886	0,709	0,098	0,561
2,500	18,553	4,870	0,414	0,012	0,396
3,000	18,427	4,743	0,377	0,016	0,353
3,500	18,259	4,576	0,329	0,018	0,301
4,000	18,072	4,389	0,274	0,014	0,233
5,000	17,790	4,107	0,192	0,010	0,164
6,000	17,592	3,909	0,135	0,007	0,115
7,000	17,456	3,773	0,095	0,004	0,074
9,000	17,309	3,626	0,053	0,002	0,047
10,000	17,273	3,589	0,042	0,000	0,024
24,000	17,147	3,464	0,006		

Tiempo	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	Xprom
0	47,8161	34,1373	4,71428571	1,460061525	4,3304994
0,16	43,2306	29,5518	3,94671308	0,32227421	3,8567068
0,33	42,1552	28,4764	3,76670052	0,790132213	3,54602862
0,5	39,5186	25,8398	3,32535672	0,770031054	2,90789128
0,83	34,5307	20,8519	2,49042585	0,170397169	2,44283651
1	33,9621	20,2833	2,39524718	0,437605009	2,15800354
1,33	31,1275	17,4487	1,92075991	0,318979563	1,74782799
1,66	29,0613	15,3825	1,57489608	0,270369902	1,42387569
2	27,2569	13,5781	1,27285529	0,20311906	1,10600805
2,5	25,2634	11,5846	0,93916081	0,168333583	0,80088726
3	23,6113	9,9325	0,66261371	0,122533725	0,56196134
3,5	22,4087	8,7299	0,46130897	0,068093538	0,40537518
4	21,7404	8,0616	0,34944139	0,051684045	0,26453218
5	20,7259	7,0471	0,17962296	0,023648826	0,14077145
6	20,2617	6,5829	0,10191994	0,01027058	0,0850469
7	20,0601	6,3813	0,06817386	0,004009398	0,05500017
9	19,9027	6,2239	0,04182647	0,004885658	0,03380006
10	19,8068	6,128	0,02577365	0,0001532	0,02225006
24	19,7647	6,0859	0,01872648		

Anexo 15. Secado de palillo en rodajas a 4 mm de espesor y 60 ° C (T9).

Tiempo(horas)	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	X prom
0,000	30,563	16,880	3,901	0,604	3,611
0,160	28,565	14,881	3,321	0,336	3,149
0,330	27,383	13,699	2,978	0,363	2,792
0,500	26,106	12,423	2,607	0,267	2,342
0,830	24,282	10,599	2,077	0,282	1,934
1,000	23,292	9,608	1,790	0,259	1,533
1,330	21,526	7,842	1,277	0,178	1,101
1,660	20,314	6,631	0,925	0,106	0,817
2,000	19,569	5,886	0,709	0,098	0,561
2,500	18,553	4,870	0,414	0,012	0,396
3,000	18,427	4,743	0,377	0,016	0,353
3,500	18,259	4,576	0,329	0,018	0,301
4,000	18,072	4,389	0,274	0,014	0,233
5,000	17,790	4,107	0,192	0,010	0,164
6,000	17,592	3,909	0,135	0,007	0,115
7,000	17,456	3,773	0,095	0,004	0,074
9,000	17,309	3,626	0,053	0,002	0,047
10,000	17,273	3,589	0,042	0,000	0,024
24,000	17,147	3,464	0,006		

Tiempo	Pm+pp	Pm	Hum b.s.	R=DX/Dt (Ls/A)	Xprom
0	46,3636	32,7247	3,81525991	0,593924186	3,68042403
0,16	44,5309	30,892	3,54558816	0,588481706	3,40363786
0,33	42,6015	28,9626	3,26168755	0,786227679	3,0831939
0,49	40,1754	26,5365	2,90470026	0,714922616	2,55980089
0,83	35,4875	21,8486	2,21490151	0,518091666	2,09728155
0,99	33,8888	20,2499	1,97966159	0,415832142	1,77905212
1,33	31,1621	17,5232	1,57844266	0,310950649	1,43284316
1,66	29,1831	15,5442	1,28724367	0,242066989	1,17389826
1,99	27,6425	14,0036	1,06055284	0,212341426	0,90990629
2,49	25,5949	11,956	0,75925975	0,151198378	0,6519914
2,99	24,1369	10,498	0,54472305	0,127502336	0,45426597
3,49	22,9074	9,2685	0,36380888	0,071388864	0,31316174
3,99	22,219	8,5801	0,2625146	0,046246171	0,19689551
4,99	21,3271	7,6882	0,13127641	0,020693852	0,10191373
5,99	20,928	7,2891	0,07255104	0,014253921	0,05232603
6,99	20,6531	7,0142	0,03210101	0,001296282	0,0284224
8,99	20,6031	6,9642	0,02474379	0,005029576	0,01760728
9,99	20,5061	6,8672	0,01047077	1,85183E-06	0,01043398
23,99	20,5056	6,8667	0,0103972		

Anexo 16. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 2 mm de espesor y 40 ° C (T1).

t(h)	L*	% aumento	a*	% aumento	b*	% aumento
0	58,22	0,00	35,59	0,00	60,42	0
0,16	62,19	6,82	33,08	-7,05	60,45	0,049652433
0,33	62,60	7,52	34,85	-2,08	62,47	3,392916253
0,5	63,83	9,64	31,14	-12,50	61,95	2,532274081
0,83	62,98	8,18	30,65	-13,88	61,78	2,250910295
1	65,64	12,74	32,51	-8,65	65,26	8,010592519
1,33	59,46	2,13	30,82	-13,40	52,87	-12,4958623
1,66	62,53	7,40	30,79	-13,49	58,45	-3,260509765
2	62,71	7,71	24,42	-31,39	40,61	-32,78715657
2,5	61,14	5,02	27,04	-24,02	53,25	-11,86693148
3	59,05	1,43	26,45	-25,68	56,80	-5,991393578
3,5	63,71	9,43	28,32	-20,43	63,94	5,825885468
4	54,02	-7,21	22,06	-38,02	35,89	-40,59913936
5	57,50	-1,24	27,80	-21,89	52,00	-13,93578285
6	58,07	-0,26	25,50	-28,35	41,68	-31,01621979
7	59,29	1,84	20,02	-43,75	33,09	-45,23336643
9	53,38	-8,31	26,55	-25,40	47,30	-21,71466402
10	60,00	3,06	27,20	-23,57	54,87	-9,185700099
24	56,76	-2,51	25,39	-28,66	43,06	-28,73220788

Anexo 17. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 2 mm de espesor y 50 ° C (T2).

t(h)	L*	% aumento	a*	% aumento	b*	% aumento
0	55,98	0,0000	26,87	0	53,26	0,00000
0,99	55,89	-0,1608	33,79	25,75363	58,80	10,40180
1,99	55,87	-0,1965	33,78	25,71641	57,79	8,50544
2,99	55,85	-0,2322	32,70	21,69706	57,70	8,33646
3,99	55,82	-0,2858	32,69	21,65984	56,68	6,42133
4,99	54,80	-2,1079	32,50	20,95274	55,65	4,48742
5,99	54,76	-2,1793	32,49	20,91552	54,60	2,51596
6,99	54,80	-2,1079	31,30	16,48679	53,50	0,45062
8,99	53,85	-3,8049	27,54	2,49349	51,88	-2,59106
9,99	55,11	-1,5541	27,45	2,15854	56,02	5,18213
16,99	52,05	-7,0204	26,05	-3,05173	51,97	-2,42208

Anexo 18. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 2 mm de espesor y 60 ° C (T3).

t (h)	L*	% aumento	a*	% aumento	b*	% aumento
0,000	56,760	0,000	25,390	0,000	43,060	0,000
0,000	59,300	4,475	35,900	41,394	55,300	28,425
0,160	60,330	6,290	29,760	17,212	53,960	25,314
0,330	60,250	6,149	29,910	17,802	54,200	25,871
0,830	65,650	15,662	26,380	3,899	49,380	14,677
1,000	60,420	6,448	30,700	20,914	56,640	31,537
1,330	62,270	9,708	28,340	11,619	57,160	32,745
1,660	59,340	4,545	29,550	16,384	55,960	29,958
2,000	59,110	4,140	29,650	16,778	55,590	29,099
2,500	56,480	-0,493	24,830	-2,206	37,430	-13,075
3,000	58,570	3,189	21,980	-13,430	33,480	-22,248
3,500	57,150	0,687	26,440	4,135	42,260	-1,858
4,000	58,010	2,202	29,590	16,542	49,520	15,002
5,000	55,350	-2,484	21,730	-14,415	40,240	-6,549
6,000	51,260	-9,690	28,960	14,061	28,720	-33,302
7,000	63,040	11,064	28,680	12,958	60,050	39,457
9,000	56,810	0,088	25,880	1,930	50,930	18,277
10,000	59,660	5,109	23,690	-6,696	37,240	-13,516
24,000	59,720	5,215	29,140	14,770	56,380	30,934

Anexo 19. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 3 mm de espesor y 40 ° C (T4).

t(h)	L*	% aumento	a*	% aumento	b*	% aumento
0	55,380	0,000	31,300	0,000	57,500	0,000
0,99	54,270	-2,004	31,310	0,032	57,490	-0,017
1,99	54,260	-2,022	31,300	0,000	56,480	-1,774
2,99	54,230	-2,077	30,280	-3,259	55,450	-3,565
3,99	54,220	-2,095	30,260	-3,323	55,420	-3,617
4,99	54,200	-2,131	30,250	-3,355	54,400	-5,391
5,99	54,190	-2,149	28,150	-10,064	53,350	-7,217
6,99	54,200	-2,131	25,100	-19,808	50,300	-12,522
8,99	51,180	-7,584	23,860	-23,770	45,140	-21,496
9,99	52,360	-5,453	25,070	-19,904	44,320	-22,922
16,99	59,010	6,555	28,370	-9,361	59,370	3,252

Anexo 20. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 3 mm de espesor y 50 ° C (T5).

t(h)	L*	% aumento	a*	% aumento	b*	% aumento
0,000	53,640	0,000	36,790	0,000	52,680	0,000
0,160	55,270	3,039	27,700	-24,708	44,100	-16,287
0,330	61,260	14,206	24,570	-33,216	45,290	-14,028
0,500	57,580	7,345	21,230	-42,294	38,650	-26,632
0,830	60,370	12,547	25,000	-32,047	44,370	-15,774
1,000	59,560	11,037	25,400	-30,959	47,820	-9,226
1,330	60,200	12,230	25,450	-30,824	45,500	-13,629
1,660	61,130	13,963	25,630	-30,334	50,190	-4,727
2,000	57,140	6,525	24,790	-32,618	48,560	-7,821
2,500	61,250	14,187	26,400	-28,241	53,540	1,632
3,000	59,160	10,291	26,170	-28,867	54,930	4,271
3,500	59,630	11,167	26,100	-29,057	56,040	6,378
4,000	58,650	9,340	24,230	-34,140	52,080	-1,139
5,000	56,710	5,723	22,850	-37,891	49,960	-5,163
6,000	57,730	7,625	23,480	-36,178	54,890	4,195
7,000	55,110	2,740	19,640	-46,616	41,260	-21,678
9,000	56,320	4,996	22,510	-38,815	51,350	-2,525
10,000	56,210	4,791	22,480	-38,896	50,680	-3,797
24,000	57,230	6,693	24,550	-33,270	55,370	5,106
24,000	57,230	6,693	24,550	-33,270	55,370	5,106

Anexo 21. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 3 mm de espesor y 60 ° C (T6).

T(h)	L*	% aumento	a*	% aumento	b*	% aumento
0,000	54,350	0,000	35,160	0,000	57,770	0,000
0,000	53,830	-0,957	27,250	-22,497	52,470	-9,174
0,990	53,730	-1,141	22,570	-35,808	46,280	-19,889
1,990	49,750	-8,464	22,610	-35,694	44,800	-22,451
2,990	44,280	-18,528	14,650	-58,333	18,710	-67,613
3,990	49,980	-8,040	23,010	-34,556	45,800	-20,720
4,990	48,610	-10,561	22,120	-37,088	42,590	-26,277
5,990	49,810	-8,353	22,560	-35,836	44,840	-22,382
6,990	47,430	-12,732	19,590	-44,283	29,360	-49,178
8,990	47,540	-12,530	21,770	-38,083	39,870	-30,985
9,990	57,310	5,446	25,730	-26,820	52,510	-9,105
23,990	57,650	6,072	30,530	-13,168	57,580	-0,329

Anexo 22. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 4 mm de espesor y 40 ° C (T7).

t(h)	L*	% aumento	a*	% aumento	b*	% aumento
0	55,98	0,0000	26,87	0	53,26	0,00000
0,99	55,89	-0,1608	33,79	25,75363	58,80	10,40180
1,99	55,87	-0,1965	33,78	25,71641	57,79	8,50544
2,99	55,85	-0,2322	32,70	21,69706	57,70	8,33646
3,99	55,82	-0,2858	32,69	21,65984	56,68	6,42133
4,99	54,80	-2,1079	32,50	20,95274	55,65	4,48742
5,99	54,76	-2,1793	32,49	20,91552	54,60	2,51596
6,99	54,80	-2,1079	31,30	16,48679	53,50	0,45062
8,99	53,85	-3,8049	27,54	2,49349	51,88	-2,59106
9,99	55,11	-1,5541	27,45	2,15854	56,02	5,18213
16,99	52,05	-7,0204	26,05	-3,05173	51,97	-2,42208

Anexo 23. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 4 mm de espesor y 50 ° C (T8).

t(h)	L*	% aumento	a*	% aumento	b*	% aumento
0,000	51,500	0,000	36,230	0,000	56,250	0,000
0,160	58,910	14,388	29,590	-18,327	49,450	-12,089
0,330	55,100	6,990	28,450	-21,474	43,970	-21,831
0,500	57,960	12,544	31,020	-14,380	53,770	-4,409
0,830	61,840	20,078	29,690	-18,051	51,770	-7,964
1,000	62,110	20,602	30,740	-15,153	52,470	-6,720
1,330	57,060	10,796	27,740	-23,434	45,690	-18,773
1,660	61,660	19,728	31,150	-14,022	53,120	-5,564
2,000	63,240	22,796	30,610	-15,512	57,300	1,867
2,500	59,160	14,874	29,610	-18,272	51,760	-7,982
3,000	59,660	15,845	29,400	-18,852	54,330	-3,413
3,500	55,910	8,563	26,040	-28,126	47,690	-15,218
4,000	54,760	6,330	24,890	-31,300	46,910	-16,604
5,000	57,410	11,476	26,230	-27,601	51,830	-7,858
6,000	57,570	11,786	26,570	-26,663	53,820	-4,320
7,000	58,160	12,932	27,200	-24,924	54,650	-2,844
9,000	58,690	13,961	27,950	-22,854	55,360	-1,582
10,000	56,010	8,757	26,310	-27,381	46,820	-16,764
24,000	58,580	13,748	15,060	-58,432	20,320	-63,876
24,000	58,580	13,748	15,060	-58,432	20,320	-63,876

Anexo 24. Resultados de color en diferentes tiempos de secado en rodajas de palillo a 4 mm de espesor y 60 ° C (T9).

t(h)	L*	% aumento	a*	% aumento	b*	% aumento
0,000	59,010	0,000	28,370	0,000	59,370	0,000
0,000	60,110	1,864	29,940	5,534	60,340	1,634
0,990	59,720	1,203	29,370	3,525	58,760	-1,027
1,990	57,910	-1,864	27,180	-4,195	50,530	-14,890
2,990	56,710	-3,898	25,420	-10,398	54,310	-8,523
3,990	56,660	-3,982	25,650	-9,588	54,450	-8,287
4,990	56,140	-4,864	24,740	-12,795	53,430	-10,005
5,990	55,750	-5,524	21,980	-22,524	43,880	-26,091
6,990	57,570	-2,440	24,950	-12,055	54,310	-8,523
8,990	52,350	-11,286	21,330	-24,815	47,250	-20,414
9,990	54,830	-7,084	24,700	-12,936	51,610	-13,071
23,990	55,300	-6,287	27,160	-4,265	52,620	-11,369

Anexo 25. Producción de (*Curcuma longa* Linneo) por año.

Data	Dpto	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Producción	AYACUCHO	194	210	218	244	260	248	418
	CUSCO	229	235	538	582	577.78	459.89	659.22
	UCAYALI	531.937	517.938	536.315	285.55	230.828	160.979	117.022