



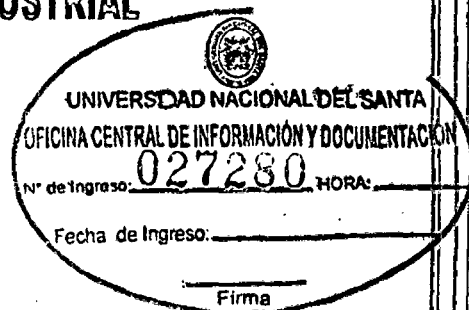
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

E. A. P. INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**"ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CALIDAD DE LA HARINA
DE LUCUMA (*Pouteria Lúcum*a) DESHIDRATADA MEDIANTE
LIOFILIZACION Y AIRE CALIENTE"**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

AUTORES:

Bach. KATHYA ELIZABETH VALIENTE MONTES

Bach. YESABELLA ALEJANDRA PAZOS CRIBILLERO

ASESOR:

DR. GILBERT RODRIGUEZ PAUCAR

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente trabajo de tesis titulado *“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CALIDAD DE LA HARINA DE LUCUMA (Pouteria Lúcumá) DESHIDRATADA MEDIANTE LIOFILIZACION Y AIRE CALIENTE”* ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación.

Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de asesor.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Gilbert Rodríguez Paucar', is written over a horizontal line.

Dr. Gilbert Rodríguez Paucar

Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CALIDAD DE LA HARINA DE LUCUMA (*Pouteria Lúcumá*) DESHIDRATADA MEDIANTE LIOFILIZACION Y AIRE CALIENTE”

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Revisado y aprobado por el jurado evaluador:

Dra. Elza Aguirre Vargas
Presidente

Ing. Williams Castillo Martínez
Secretario

Dr. Gilbert Rodríguez Paucar
Integrante

DEDICATORIA

Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada día más.

A mis señores padres, **Lolita Luz Montes Moran y Alfredo Valiente Flores**; a ti madre por haberme educado y soportado mis errores, gracias a tus consejos, por el amor que siempre me has brindado, por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por tu amor. Y a ti padre a quien le debo todo en la vida, le agradezco el cariño, la comprensión, la paciencia y el apoyo que me brindaste para culminar mi carrera profesional.

A mis hermanos Melissa y Sergio porque siempre he contado con ellos para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y amistad.

A Wilmer, admirable persona de quien me siento orgullosa en conocer por su calidad humana, mismo a quien considero mi mejor amigo, observando la actualidad de la frase: "Al lado de todo gran hombre hay una gran mujer".

A mis amigos entrañables, que sin importar el tiempo que nos conocemos, la amistad que ha surgido se ha fortalecido,

KATHYA VALIENTE MONTES

A dios por darme su inmenso amor y la fortaleza necesaria para que cada día me esfuerce en cumplir mis metas y no flaquear antes las adversidades que se me presentan en el camino.

A mi madre Ines Cribillero Luna por haberme inculcado buenos valores y una buena enseñanza para ser una mejor persona, por ser una mujer a la que siempre voy admirar, gracias por tu inmenso amor, paciencia y comprensión que siempre me brindaste, y porque tu felicidad es mi felicidad.

A mi padre Cesar Pazos Benavidez por tus consejos que me enseñan cómo enfrentar las dificultades de la vida, y ser una mejor profesional , por escucharme, por ser mi mejor amigo y apoyarme en este proyecto.

A mi abuela Bonifacia y mi primo Jandir por su apoyo, confianza y sus palabras de aliento, gracias a toda mi familia que me brinda todo su amor.

A mis grandes amigos Jimmy, Carlo, Jhon, Luis, Jennifer, Gabriela y Juan Carlos, que siempre están conmigo en las buenas y en las malas, por su paciencia, sus consejos y por nuestra amistad.

YESABELLA PAZOS CRIBILLERO

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar nuestros más profundos agradecimientos al Dr. Gilbert Rodríguez Paucar, quien de manera incondicional nos apoyó y orientó académicamente en el desarrollo de esta tesis y llegar a la culminación del mismo.

A nuestros maestros de la E.A.P Ingeniería Agroindustrial gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que nos transmitieron en el desarrollo de mi formación académica; a quienes estimamos y respetamos.

A la Universidad Nacional del Santa y en especial a la E.A.P Ingeniería Agroindustrial por permitirnos ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para el país.

A nuestros padres quienes con su intenso amor, comprensión y apoyo constante nos ayudaron a salir adelante para así poder alcanzar nuestra meta.

De manera muy especial también agradecer a la Ing. Beatriz Sandoval Zavaleta, Ing. Lenin Palacios Ambrocio por apoyarnos en la realización de la tesis, también a la Srta Silvia Huacacolqui Minaya, encargada de la biblioteca especializada, por su colaboración y paciencia al brindarnos bibliografía.

Las autores

INDICE GENERAL

	PAG
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	15
II. MARCO TEORICO	17
2.1. Lúcuma	17
2.1.1. Aspectos generales	17
2.1.2. Características del fruto	19
2.1.3. Estructura del fruto	20
2.1.4. Origen	20
2.1.5. Importancia	22
2.1.6. Composición química y valor nutricional de la lúcuma	22
2.1.7. Usos	26
2.2. Harina de Lúcuma	27
2.2.1. Definición	27
2.2.2. Importancia	28
2.2.3. Composición química y valor nutricional de la Harina de lúcuma	28
2.2.4. Características y perspectivas del mercado	30

2.3. Fundamentos del secado	31
2.3.1. Secado por Liofilización	32
2.3.2. Secado por Aire Caliente	42
2.3.3. Cambios en el alimento durante el secado	46
2.4. Medición instrumental del color	52
2.4.1. Sistema de color CIE	56
2.4.1.1. CIELAB ($L^* a^* b^*$)	60
2.4.1.2. CIELCH ($L^* c^* h^\circ$)	62
2.4.2. Diferencias del color, notación y tolerancia	63
III. MATERIALES Y METODOS	64
3.1. Lugar de ejecución	64
3.2. Materiales	64
3.2.1. Materia Prima	64
3.2.2. Reactivos e Insumos	64
3.2.3. Materiales de vidrio y otros	64
3.2.4. Equipos e Instrumentos	65
3.3. Métodos	70
3.3.1. Metodología para la obtención de harina de Lúcumá	70
3.3.1.1. Selección y clasificación	70
3.3.1.2. Lavado	70

3.3.1.3. Escaldado	71
3.3.1.4. Pelado	71
3.3.1.5. Cortado	72
3.3.1.6. Embandejado	72
3.3.1.7. Secado	73
3.3.1.8. Molienda	76
3.3.1.9. Tamizado	76
3.3.2. Análisis fisicoquímico para la materia prima y la harina	78
3.3.2.1. Determinación de humedad	78
3.3.2.2. Determinación de pH	78
3.3.2.3. Determinación de sólidos solubles	79
3.3.2.4. Determinación de cenizas	79
3.3.2.5. Determinación de grasas	79
3.3.2.6. Análisis granulométrico	80
3.3.2.7. Análisis de Índice de Color	80
3.3.3. Análisis sensorial	81
3.3.4. Diseño experimental	82
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	84
4.1. Obtención de la harina de lúcuma	84
4.1.1. Análisis fisicoquímico de la materia prima	84
4.2. Evaluación del efecto de secado sobre las características del producto	85
4.2.1. Análisis fisicoquímico de la harina de Lúcuma	85

4.2.2. Análisis granulométrico	86
4.2.3. Índice de Color	87
4.3. Obtención y evaluación de los perfiles de temperatura	90
4.3.1. En el secado por Liofilización	90
4.3.1.1. Perfiles de temperatura en el secado por liofilización	91
4.3.2. En el secado por Aire Caliente	97
4.3.2.1. Perfiles de temperatura en el secado por liofilización	96
4.4. Análisis sensorial	101
4.4.1. Análisis sensorial de la harina de Lúcumá	101
4.4.1.1. Evaluación del color	101
4.4.1.2. Evaluación del olor	104
4.4.1.3. Evaluación de la textura	106
4.4.1.4. Evaluación del sabor	107
V. CONCLUSIONES	109
VI. RECOMENDACIONES	110
VII. BIBLIOGRAFIA	111
ANEXOS	115

INDICE DE CUADROS

Cuadro 01: Componentes de la Lúcumá	20
Cuadro 02: Composición química de 100 gr de pulpa fresca de Lúcumá	24
Cuadro 03: Composición química de 100 gr harina de Lúcumá	29
Cuadro 04: Parámetros para el secado por Aire Caliente de la Lúcumá	73
Cuadro 05: Parámetros para el secado por Liofilización de la Lúcumá	75
Cuadro 06: Clasificación ITINTEC	80
Cuadro 07: ANVA para el análisis sensorial	81
Cuadro 08: Esquema del diseño experimental DBCA con arreglo factorial	83
Cuadro 09: Análisis fisicoquímico de la materia prima	84
Cuadro 10: Características fisicoquímicas de la harina Lúcumá	85
Cuadro 11: Análisis granulométrico de la harina de Lúcumá	86
Cuadro 12: Datos experimentales de la comparación de la variación de color entre los métodos de secado de Aire Caliente y Liofilizado.	87
Cuadro 13: Análisis del color en la harina de Lúcumá diferentes tratamientos	88
Cuadro 14: Escala hedónica	102
Cuadro 15: Análisis de varianza para evaluar el color en la Harina de Lúcumá	103
Cuadro 16: Análisis de varianza para evaluar el olor en la Harina de Lúcumá	104
Cuadro 17: Análisis de varianza para evaluar la textura en la Harina de Lúcumá	106
Cuadro 18: Análisis de varianza para evaluar el sabor en la Harina de Lúcumá	107
Cuadro 19: Análisis granulométrico: modulo de finura. Muestra 100 gr de Harina obtenida por Liofilización sin tratamiento con $\rho=3\text{kg/m}^2$	116
Cuadro 20: Análisis granulométrico: modulo de finura. Muestra 100 gr de	117

	Harina obtenida por Liofilización sin tratamiento con $\rho=5\text{kg/m}^2$	
Cuadro 21:	Análisis granulométrico: modulo de finura. Muestra 100 gr de Harina obtenida por Liofilización con tratamiento con $\rho=3\text{kg/m}^2$	118
Cuadro 22:	Análisis granulométrico: modulo de finura. Muestra 100 gr de Harina obtenida por Liofilización con tratamiento con $\rho=5\text{kg/m}^2$	119
Cuadro 23:	Análisis granulométrico: modulo de finura. Muestra 100 gr de Harina obtenida por Aire Caliente sin tratamiento con $\rho=3\text{kg/m}^2$	120
Cuadro 24:	Análisis granulométrico: modulo de finura. Muestra 100 gr de Harina obtenida por Aire Caliente sin tratamiento con $\rho=5\text{kg/m}^2$	121
Cuadro 25:	Análisis granulométrico: modulo de finura. Muestra 100 gr de Harina obtenida por Aire Caliente con tratamiento con $\rho=3\text{kg/m}^2$	122
Cuadro 26:	Análisis granulométrico: modulo de finura. Muestra 100 gr de Harina obtenida por Aire Caliente con tratamiento con $\rho=5\text{kg/m}^2$	123
Cuadro 27:	Datos experimentales de la comparación de la variación de color entre los métodos de secado de aire caliente y liofilizado.	124
Cuadro 28:	Resultado de la evaluación del color de la harina obtenida por diferentes tratamientos	128
Cuadro 29:	Resultado de la evaluación del olor de la harina obtenida por diferentes tratamientos	132
Cuadro 30:	Resultado de la evaluación de la textura de la harina obtenida por diferentes tratamientos	136
Cuadro 31:	Resultado de la evaluación del sabor de la harina obtenida por diferentes tratamientos	140

INDICE DE FIGURAS

Fig 01: Arbustos y fruto de la Lúcumá	18
Fig 02: Lúcumá (Pouteria Lucuma)	19
Fig 03: Partes de la Lúcumá	20
Fig 04: Cerámicas preincas representando la fruta Lúcumá con forma esférica y cónica.	21
Fig 05: Harina de Lúcumá	27
Fig 06: Principales destinos de Lúcumá y sus derivados	31
Fig 07: Etapas del proceso de Liofilización	37
Fig 08: Curva de secado	45
Fig 09: Matiz	54
Fig 10: Cromaticidad	55
Fig 11: Sistema de color tridimensional que muestra la luminosidad	56
Fig 12: Curva espectral de una muestra medida	58
Fig 13: Luz de día (Iluminante estándar D65/10°)	59
Fig 14: Gráfica de color CIELAB	61
Fig 15: El espacio de color CIELAB	61

Fig 16: Liofilizador	65
Fig 17: Estufa eléctrica	66
Fig 18: Balanza analítica	66
Fig 19: pH metro	67
Fig 20: Colorímetro	67
Fig 21: Mufia	67
Fig 22: Secador de aire caliente	68
Fig 23: Molino manual	68
Fig 24: Balanza de precisión	69
Fig 25: Selección y clasificación	70
Fig 26: Pelado	71
Fig 27: Embandejado	72
Fig 28: Secado por aire caliente	74
Fig 29: Secado por Liofilización	75
Fig 30: Molienda	76
Fig 31: Diagrama de flujo para la obtención de Harina de Lúcumas deshidratada por dos métodos de secado	77

Fig 32: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización con tratamiento y densidad de carga de 3 kg/m ²	90
Fig 33: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización con tratamiento y densidad de carga de 5 kg/m ²	91
Fig 34: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización sin tratamiento y densidad de carga de 3 kg/m ²	93
Fig 35: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización sin tratamiento y densidad de carga de 5 kg/m ²	94
Fig 36: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Aire caliente con tratamiento y densidad de carga de 3 kg/m ²	97
Fig 37: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Aire caliente con tratamiento y densidad de carga de 5 kg/m ²	98
Fig 38: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Aire caliente sin tratamiento y densidad de carga de 3 kg/m ²	99
Fig 39: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Aire caliente sin tratamiento y densidad de carga de 5 kg/m ²	100

ANEXOS

Anexo 1: Análisis granulométrico de la harina de Lúcumá

Anexo 2: Evaluación de los efectos de los parámetros en el Índice de Color del producto final

Anexo 3: Resultado del Análisis Sensorial de la Harina de Lúcumá obtenida por diferentes tratamientos

RESUMEN

El principal estudio se ha realizado con la finalidad de evaluar dos tipos de secado, liofilización y aire caliente en la obtención de harina de lúcuma.

Se empleo lúcuma (Pouteria Lúcuma) de la variedad Seda, como materia prima para la obtención de harina, para luego evaluar y comparar sus características fisicoquímicas.

Para la obtención de la harina se siguió un flujo de procesamiento que comprendía: selección y clasificación, lavado, escaldado (a 100°C x 5", de ser el tratamiento indicado), pelado, cortado (en rodajas con 5 mm de espesor), embandejado (con densidad de carga de 3kg/m² y 5kg/m²), secado (se ensayaron 2 métodos de secado: Liofilización y Aire Caliente), molienda, tamizado y empaçado.

Con la finalidad de conocer el efecto de los tratamientos en el secado sobre las características del producto se determinó el índice de color, a la vez se realizo el análisis sensorial de dichas harinas.

Determinamos la calidad del producto obtenido, de manera que mantenga sus características fisico-químicas y organolépticas originales para su posterior uso.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la lúcuma es la especie de Pouteria más extendida y comercialmente más valiosa. En los últimos años la producción de lúcuma ha venido creciendo, con rendimiento por hectárea en ascenso. Según esta tendencia y a la luz estudios de investigación efectuados por INIA, el rendimiento actual de 8,6 TM/Ha podría aumentar a 10 TM/Ha en los próximos años, mejorando la calidad de los biotipos, apuntando a la estandarización de la oferta.

Estas mejoras también deben permitir un mayor rendimiento de la materia prima para su procesamiento como harina de lúcuma, para satisfacer la demanda del mercado en épocas en que no se dispone de fruta fresca. De esta manera es fácilmente envasada y exportada a mercados extranjeros. Se usa principalmente en la elaboración de helados, batidos y otros postres, muchos de ellos preparados con leche.

Esta jugosa producción abre las puertas a los sub productos de la lúcuma. El mercado de las frutas deshidratadas representa una muy buena oportunidad para el productor de pulpa de lúcuma; ya que se pueden aprovechar las mermas que se tienen en el campo debido a la lúcuma fresca que no cumplen con las características de exportación. Se le da así un valor agregado a la producción y se minimizan pérdidas.

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Agroindustriales, Laboratorio de Operaciones Unitarias y Automatización y Planta Piloto de la Universidad Nacional del Santa. La

misma que consistió en comparar dos tipos de secado; El liofilizado y aire caliente en la obtención de harina de lúcuma; siguiendo los siguientes objetivos:

- **Evaluar el efecto del escaldado en la calidad fisicoquímica y sensorial de la harina de lúcuma**
- **Evaluar la influencia de la densidad de carga en la calidad fisicoquímica y sensorial de la harina de lúcuma**
- **Evaluar comparativamente el efecto de la liofilización y secado con aire caliente en la calidad fisicoquímica y sensorial de la harina de lúcuma**
- **Evaluar la calidad fisicoquímica y sensorial del producto final.**

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Lúcuma

2.1.1. Aspectos generales

El lúcumo (*Pouteria lucuma*) es un árbol de la familia de las sapotáceas, planta originaria de los valles interandinos ubicados en el Perú. Se cultiva por su fruto llamado lúcuma empleado en gastronomía, sobre todo en la confección de postres y helados. **(Villanueva, 2002)**

El lúcumo es un árbol perenne de fuste recto y cilíndrico, que alcanza los quince metros de altura. Su madera es de color claro, grano fino y resistente. La copa es densa y de forma esférica; las hojas se concentran en el ápice de las ramas tiernas, ligeramente pubescentes, y son de forma elíptica, con la base achatada. Tienen entre 12 y 25 centímetros de largo, textura coriácea, y color verde oscuro en el envés. Las flores se dan solitarias o en racimos de dos o tres, axilares, y de forma tubular; son pequeñas, de color amarillo o verdoso, e invariablemente hermafroditas. Muestran cinco a siete sépalos vellosos, que quedan adheridos al punto de inserción del pecíolo en el fruto, que tarda casi nueve meses en madurar desde la fertilización de la flor. **(Gutierrez, 2004)**



**Figura 01: Arbusto y frutos de la Lúcumá.
(Gutierrez, 2004)**

En Chile, el cultivo de Lúcumá, se ha extendido desde la región cálida del norte hasta la zona central, donde hoy se encuentran la mayoría de los cultivos, en reemplazo de la variedad nativa de Chile la *Pouteria splendens*. En el Perú la mayor parte de la producción se concentra en las zonas de Lima, Ayacucho, La Libertad, Cajamarca y Huancavelica. La COPROBA, organismo del gobierno del Perú, lo ha declarado uno de los productos bandera del Perú.

La calidad de la fruta varía drásticamente con las condiciones de cultivo. Produce frutos desde nivel del mar hasta los 3.000 msnm, pero las condiciones óptimas están alrededor de los 500. En condiciones favorables los árboles producen entre 200 y 300 frutos,

a partir del cuarto o quinto año. La producción es mejor en los especímenes producidos por esquejes que por los plantados de semilla, aunque la germinación de éstas no ofrece particulares complicaciones. (Villanueva, 2002)

2.1.2. Características del fruto

El fruto es oblongo, frecuentemente con un ápice cónico redondeado, y está recubierto por una piel delicada de color verde brillante cuando inmaduro, que vira al pardo en la madurez. Alcanza unos 15 cm de largo en las variedades cultivares, y unos 200 gramos de peso. Durante la maduración está saturado de látex; una vez listo para su consumo la pulpa es de color amarillo-anaranjado, inusualmente seca y almidonosa, y muy dulce. Contiene de dos a cinco semillas ovales y achatadas, de color pardo oscuro, con un filum blanquecino a un lado. (Villanueva, 2002)



**Figura 02: Lúcumá (*Pouteria Lúcumá*)
(Villanueva, 2002)**

2.1.3. Estructura del fruto

Cuadro 01: componentes de la lúcuma

Componente	%
Pulpa (mesocarpio)	64 – 78
Cascara (epicarpio)	7 – 17
Hollejo (endocarpio)	2 – 3
Semilla	8 – 15

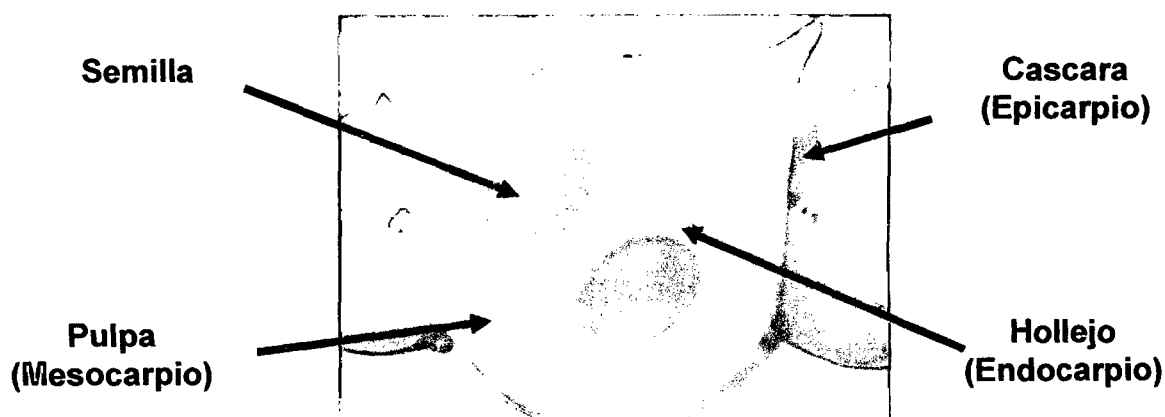


Figura 03: Partes de la Lúcuma

(Villanueva, 2002)

2.1.4. Origen

El lúcumo es un frutal nativo de los valles interandinos del Perú, Ecuador y Chile.

Según cronistas e historiadores, el uso de la lúcuma proviene de épocas anteriores al incanato, habiéndose encontrado representaciones del fruto de lúcumo en huacos y tejidos en la tumbas de las culturas preincas (ver figura 04). La lúcuma se

consumía hace ya dos mil años, remontándose su origen a la cultura Nazca. También se evidencia en imágenes de huacos de la cultura Mochica, la misma que se desarrolló en la Costa Norte del Perú (Prolúcuma, 2001).

Esto corrobora un aprovechamiento ancestral como parte de la dieta alimenticia en esas y otras poblaciones que se asentaron en localidades de la costa y sierra del Perú. La lúcuma es una fruta originaria de nuestro país que por su calidad y tradición histórica puede tener mayores perspectivas en el mercado internacional.

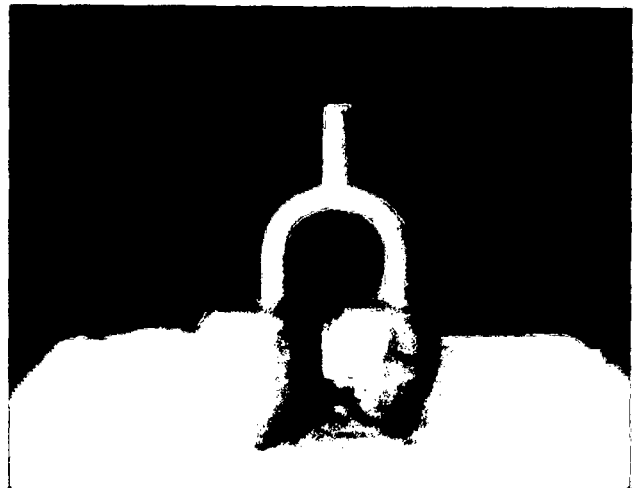


Figura 04: Cerámicas preíncas representando frutas de lúcuma con forma esférica y cónica (Prolúcuma, 2001)

2.1.5. Importancia:

En estos últimos años la lúcuma ha generado expectativas en los inversionistas, como consecuencia de la creciente demanda de empresas en el exterior; dedicadas al comercio de productos naturales y exóticos. Por otra parte, la tendencia del mercado mundial de productos industrializados, se orienta a alimentos funcionales que presenten propiedades antioxidantes y anti-cancerígenas. Algunas investigaciones de mercado y pruebas de sabor dan cuenta de la creciente aceptación de la lúcuma en exigentes mercados como el europeo, norteamericano y asiático (Japón); en los que su agradable sabor, aroma exótico y suave textura, le otorgan diversas posibilidades para su utilización. Es por ello que la lúcuma se presenta como una buena alternativa para el consumidor moderno, en sus diversas presentaciones. (Villanueva, 2002)

2.1.6. Composición química y valor nutricional de la Lúcuma

- **Composición química**

La lúcuma es una de las frutas que contiene los más altos niveles de proteínas, fluctuando en un rango de 1.5-2.4 g por cada 100 g de muestra, sólo siendo superado por la palta (4.2 g), plátano verde (4 g), coco (3.2 g) y maracuyá (2.8 g). Además, la lúcuma presenta un nivel de carbohidratos significativamente alto. (25 g). Los azúcares presentes en la

pulpa son glucosa, fructosa, sacarosa e inositol. Es importante señalar que la fruta verde solamente presenta sacarosa; y a medida que avanza el estado de maduración se incrementa la glucosa, fructosa e inositol. En 100g de pulpa madura existen 8.4 g de glucosa, 4.7 g de fructosa, 1.7 g de sacarosa y 0.06 g de inositol.

En cuanto a las vitaminas, presenta niveles significativos de niacina con 1.96 mg /100 g de muestra.

También es importante destacar que la lúcumá contiene minerales como calcio, fósforo y hierro. Con respecto a los pigmentos, esta fruta se caracteriza por presentar en la pulpa un significativo contenido de pigmentos de beta-caroteno (350 µg/ 100 g). Se sabe que este pigmento funciona como un antioxidante. (Villanueva, 2002)

Cuadro 02: Composición química de 100 g de pulpa fresca de lúcumá

Componentes	Unidad	Valor
Energía	Kcal	99
Agua	Gr	72.3
Proteínas	Gr	1.5
Grasa	Gr	0.5
Carbohidratos	Gr	25
Fibra	Gr	1.3
Ceniza	Gr	0.7
Calcio	Mg	16
Fosforo	Mg	26
Hierro	Mg	0.4
Retinol	Ug	355
Tiamina	Mg	0.01
Riboflavina	Mg	0.14
Niacina	Mg	19.6
Ac. Ascórbico	Mg	2.2

Fuente: (Villanueva, 2002)

- **Valor nutricional**

Se sabe que la lúcuma posee una gran cantidad de niacina, caroteno, hierro y fibra, sustancias claves para el correcto funcionamiento del organismo. Aunque pocos reconocen en ella uno de los naturales y efectivos antídotos contra la depresión, debido a su alto contenido de niacina, sustancia conocida como vitamina B3, útil en el metabolismo de las proteínas y en el proceso de producción de la energía corporal, la ingesta de lúcuma estimula el buen funcionamiento del sistema nervioso y actúa como un extraordinario energizante. (Villanueva, 2002)

La niacina presente en grandes cantidades en esta especie, ayuda a reducir el nivel de colesterol y triglicéridos en la sangre, por lo que resulta de vital importancia para el tratamiento de innumerables enfermedades, especialmente la obesidad y malestares cardiovasculares. El caroteno actúa como un antioxidante, reduciendo los efectos del envejecimiento; contrarresta las enfermedades que afectan los ojos como las cataratas y la pérdida de la visión por la degeneración de la retina. Previene el cáncer de próstata y disminuye considerablemente las probabilidades de ataques cardíacos, además de aumentar la eficacia de nuestro sistema inmunológico. Y todo esto presente en la lúcuma.

Por su parte el hierro, presente también en proporciones importantes en esta singular especie, constituye un elemento imprescindible para el organismo humano dentro del grupo de los minerales. Sin el hierro necesario, se sabe, nuestro cuerpo se torna lento debido que una de sus funciones más importantes se vería afectada: oxidar la glucosa a fin de convertirla en energía.

El hierro estimula así la inmunidad y la resistencia física, asimismo, el látex de la lúcuma se utiliza con gran éxito contra todo tipo de afecciones cutáneas, en especial contra el herpes y las verrugas y sus hojas son utilizadas como tintes naturales para teñir productos textiles. (Villanueva, 2002)

2.1.7. Usos

Tradicionalmente la lúcuma es empleada en el Perú tanto para consumo fresco como industrial, en cuyo caso es comúnmente convertida en pulpa o harina. La mayor demanda nacional proviene del sector de helados, que la requiere en forma de harina y pulpa. En los últimos años, tanto la fruta fresca como la industrializada, se está utilizando también en la elaboración de mermeladas, yogures, pastas, papillas, batido de leche, tortas, torta de lúcuma, ravioles, bombones, pudines, galletas, licor de lúcuma, pastas, comidas y conservas. (Prolúcuma, 2001)

2.2. Harina de Lúcura

2.2.1. Definición

La harina o polvo de lúcura es el resultado de deshidratar la pulpa de lúcura hasta una humedad menor de 8.5% y molerla muy finamente (menor a 0.15 mm) de tamaño de partícula). Es un polvo de color amarillo o anaranjado de mediana a baja intensidad. Su aroma es agradable y característico de la fruta, medianamente intenso a intenso. Se utiliza como ingrediente para la elaboración de diversos postres. (Prolúcura, 2001)

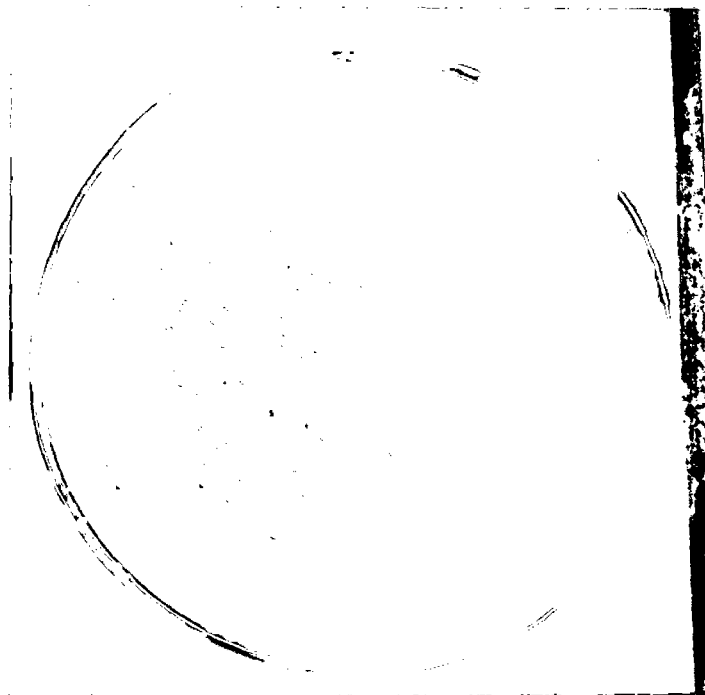


Figura 05: Harina de Lúcura

(Fuente: Elaboración propia)

2.2.2. Importancia

La lúcuma es industrializada en forma de pulpa congelada y harina principalmente, productos que se utilizan mayoritariamente en repostería. La harina es una forma tradicional de procesamiento que se inició comercialmente en la década del setenta.

A nivel nacional la harina de lúcuma es consumida mayoritariamente por D'Onofrio de Nestlé, la cual la utiliza para la fabricación de helados. Otras heladerías artesanales también le dan el mismo uso.

Tanto los mercados europeos, asiáticos (China) así como también el mercado norteamericano están creciendo económicamente de manera favorable y tienen un incremento constante en el consumo de productos orgánicos y exóticos, entre los cuales están incluidas la lúcuma fresca y sus derivados (deshidratado y en pulpa). La harina de lúcuma, por su exquisito aroma y peculiar sabor, representa una excelente oportunidad para la industria de helados, postres, yogurt, etc. La harina de lúcuma permite disponer de todas las cualidades de esta fruta en épocas en las que no hay producción de ésta. (Proinversión, 2000).

2.2.3. Composición química y valor nutricional de la harina de lúcuma

La harina conserva casi todos los componentes nutritivos de la fruta detallados en el cuadro 02. Con respecto a los pigmentos,

esta fruta se caracteriza por presentar en la pulpa un significativo contenido de pigmentos de beta-caroteno (350 µg).

Investigaciones científicas señalan que este pigmento funciona como un antioxidante. Al procesar la lúcuma en harina, por efecto del calor y la luz, se pierde la vitamina niacina y caroteno (Villanueva, 2002)

Cuadro 03: Composición química en 100 gr de Harina de Lúcuma.

Componentes	Unidad	Valor
Energía	Kcal	329
Agua	Gr	9.3
Proteínas	Gr	4.0
Grasa	Gr	2.4
Fibra	Gr	2.3
Ceniza	Gr	2.3
Calcio	Mg	92
Fosforo	Mg	186
Hierro	Mg	4.6
Tiamina	Mg	0.2
Riboflavina	Mg	0.3
Niacina	Mg	-
β-caroteno	Mg	350
Ac. Ascórbico	Mg	11.6

Fuente: (Villanueva, 2002)

2.2.4 Características y perspectivas del mercado

La lúcuma, una fruta originaria de los Andes peruanos, con un alto valor nutricional, tiene un gran potencial pues procesada y convertida en harina, es utilizada en la preparación de postres y helados, es así que en los primeros cinco meses del año 2009 sus envíos sumaron US\$ 245 mil 354, 99 por ciento más que en similar periodo del año 2008 cuando alcanzó los US\$ 123 mil 405, informó la Asociación de Exportadores (ADEX).

Según el Sistema de Inteligencia Comercial ADEX DATA TRADE, entre enero y mayo del 2009, esa fruta y sus derivados se exportaron a 15 países. Chile es el principal destino al concentrar el 65% del total, con compras por US\$ 153 mil (pulpa de lúcuma y Chocolate lúcuma Britt).

En el ranking de países destinos le sigue Estados Unidos que presentó una contracción de 37%, importando lúcuma peruana y sus derivados por US\$ 59 mil 451, asimismo, Reino Unido, Alemania, Canadá, Colombia y Australia, entre otros. Los nuevos destinos en los primeros cinco meses del año 2009 respecto a similar periodo del año 2008 son Alemania (US\$ 3,738), Canadá (US\$ 3,578), Colombia (US\$ 3,431), Brasil y Países Bajos. (www.aeronoticias.com.pe)

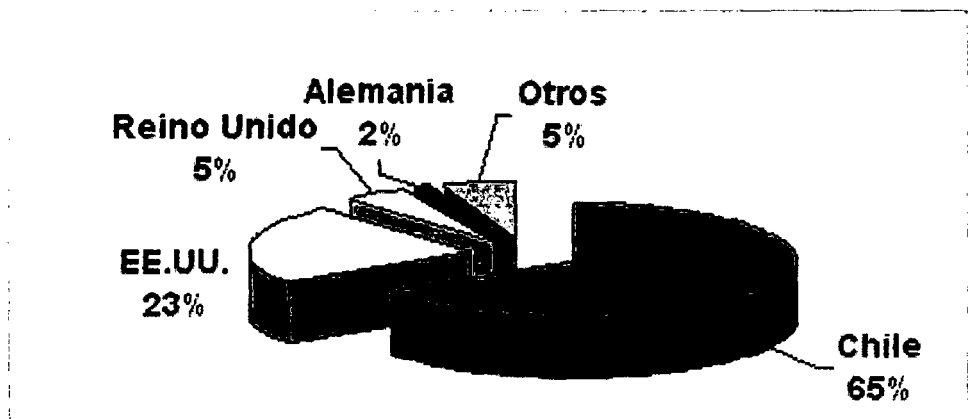


Figura 06: Principales destinos de Lúcumá y sus derivados. Enero- Mayo 2009

(Fuente: www.aeronoticias.com.pe)

2.3. Fundamentos del secado

Secar significa remover cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. El término se emplea también al extraer líquidos orgánicos de materiales sólidos. El secado es un proceso en el que se intercambian calor y masa. Implica la transferencia de un líquido procedente de un sólido húmedo a una fase gaseosa no saturada. Incluye una operación energética elemental y representa una de las acciones térmicas básicas en la industria de procesos y agro-alimentaria.

El secado o deshidratación de alimentos se usa como técnica de preservación pues los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y desarrollarse en ausencia de agua.

Una de las maneras más simples para lograr el secado (de alimentos o cualquier material) es exponer el material húmedo a una corriente de

aire con determinadas condiciones de temperatura, humedad y velocidad. Entre más seco y más caliente esté el aire, mayor será la velocidad de secado. El calor se añade por contacto directo del producto a secar con aire caliente a presión atmosférica y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire. Existen otros procesos de secado más complicados como el secado al vacío o por congelación. En el secado al vacío la evaporación del agua se verifica con mayor rapidez y el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación; en el secado por congelación el agua se sublima, pasando directamente del material congelado al aire.

2.3.1. Secado por Liofilización

El término liofilización, proviene del griego Lyos = yo disuelvo, y Phylia = amistad, este término se debe posiblemente a que cuando rehidratamos un producto liofilizado, ésta se realiza sin demora y es optima.

El secado por liofilización, es un proceso de deshidratación en la que el agua contenida en el producto es extraída por sublimación, es decir, por el paso directo del estado sólido (hielo), al estado gaseoso (vapor), bajo condiciones de presión de vacío.

Esta técnica se aplica principalmente para conservar productos sensibles a la temperatura, cuyas propiedades deseables y principales se perderían si estos productos fuesen deshidratados

con las técnicas tradicionales. **(Manual básico de Liofilización, 2005)**

Ventajas de la liofilización.

Si comparamos el proceso de liofilización frente a otras técnicas de secado, por ejemplo, el secado en rodillos, secado por atomización, en cámaras con circulación de aire forzado, secado solar, etc., la liofilización presenta las siguientes ventajas:

- Reduce la pérdida de compuestos volátiles (aromas), lo que se traduce en mantener la calidad del producto.
- No promueve la descomposición de los componentes por acción del calor, al no crear condiciones para que sucedan las reacciones de Maillard, caramelización, desnaturalización, etc.
- Mayor solubilidad del producto final seco, esto es, la fácil rehidratación, debido a la estructura esponjosa (porosa) dejada por la salida del agua.
- Conserva la morfología inicial del material, debido a que la materia prima se congela y es en ese estado en que se seca, por lo tanto no existe la reducción de su volumen.
- Cuando se deshidratan cepas microbianas con esta técnica, se mantiene la viabilidad celular. **(Manual básico de Liofilización, 2005)**

Desventajas.

La liofilización, es una técnica de secado, relativamente costosa, por que se requiere primeramente congelar a la materia prima, para lo cual se necesita energía, luego se sublima y desorciona bajo condiciones de vacío, durante tiempos que pueden variar entre ocho a veinte horas, dependiendo de la densidad de carga y temperaturas, todo ello trae como consecuencia un fuerte gasto de energía.

Esta técnica comparada con la conservación por congelación, a través del tiempo, resulta ser más económica, por que los productos liofilizados pueden almacenarse a temperatura ambiente o en refrigeración. **(Manual básico de Liofilización, 2005)**

Etapas de la liofilización

Las etapas fundamentales de la liofilización son las siguientes:

1. Congelación
2. Sublimación
3. Desorción

Congelación.

Antes de someter al producto a la liofilización, es necesario acondicionarla, para ello debemos conocer si el producto sufre acción enzimática u oxidativa, si es así, es necesario inactivar las enzimas mediante escaldado u otra operación, luego debe cortarse

en pedazos a fin de incrementar el área superficial de contacto para mejorar la transferencia de calor y masa, de ser necesario se debería pulpear dicha materia prima.

El agua a eliminarse se encuentra ligada en diferentes formas a la fase dispersa, y la forma de ligación desempeña un rol importante durante la liofilización.

La forma como se liga el agua al alimento se clasifica de acuerdo a la energía necesaria para la separación isotérmica de una unidad de masa de agua del material húmedo y es de la siguiente manera:

- **Químicamente ligada;** agua que esta ligada por enlaces iónicos al soluto o a la estructura del producto y solo puede ser liberada por la destrucción del material, su energía de ligación varía de 20 a 100 Kcal/mol.
- **De Adsorción;** agua retenida en el campo de fuerza de las superficies externas e internas de las partículas del material, la primera capa adsorvida es conocida como “monocapa”.
- **De Capilar;** básicamente es agua libre, con la excepción de una camada muy fina “Adsorvida” a las paredes del capilar pero con una energía de ligación menor a la de adsorción.
- **Osmóticamente retenida;** representa el medio de dispersión de varias soluciones celulares, que migran a través de la membrana semipermeable.

En la etapa de congelación, se registra la separación del agua libre entre intersticios del soluto disuelto o partículas coloidales que se transforma en hielo puro. Inmediatamente después comienzan a congelarse los diferentes eutécticos hasta congelar toda la masa. A la congelación a veces se le denomina como una primera deshidratación, debido a la separación del agua libre intersticial y durante el crecimiento de cristales de hielo, el agua celular migra hacia dichos cristales.

Durante la congelación, cuando los cristales de hielo incorporan agua muy selectivamente, todas las otras sustancias, inicialmente presentes en la solución van a conformar el líquido intersticial denominado CAS (Solución Amorfa Concentrada) es así que la CAS esta formada por regiones de solutos retenidos entre cristales de hielo como consecuencia de la congelación.

El número y tamaño de cristales de hielo dependen de la velocidad de congelación, la congelación lenta ($\leq 2^{\circ}\text{C}/\text{min.}$) tiende a la formación de pocos cristales intersticiales de gran tamaño que le dan al producto una estructura gruesa y esponjosa destruyendo parcialmente la estructura del producto, mientras que la congelación rápida (10 a $100^{\circ}\text{C}/\text{min.}$) forma cristales pequeños y numerosos originando una estructura finamente porosa que no destruye la estructura del producto. **(Manual básico de Liofilización, 2005)**

Sublimación o Desecación Primaria.

La sublimación, es un proceso físico, durante el cual se pasa del estado sólido directamente al estado de vapor sin pasar por el estado líquido. Las condiciones requeridas para la sublimación, tal como ocurre en el proceso de liofilización pueden ser obtenidas en el diagrama de fases siguiente:

Como se puede observar, la sublimación, solo puede llevarse a cabo cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie de hielo se encuentran en valores inferiores al punto triple (4,6 mm.Hg y temperatura a 0°C). (**Manual básico de Liofilización, 2005**)

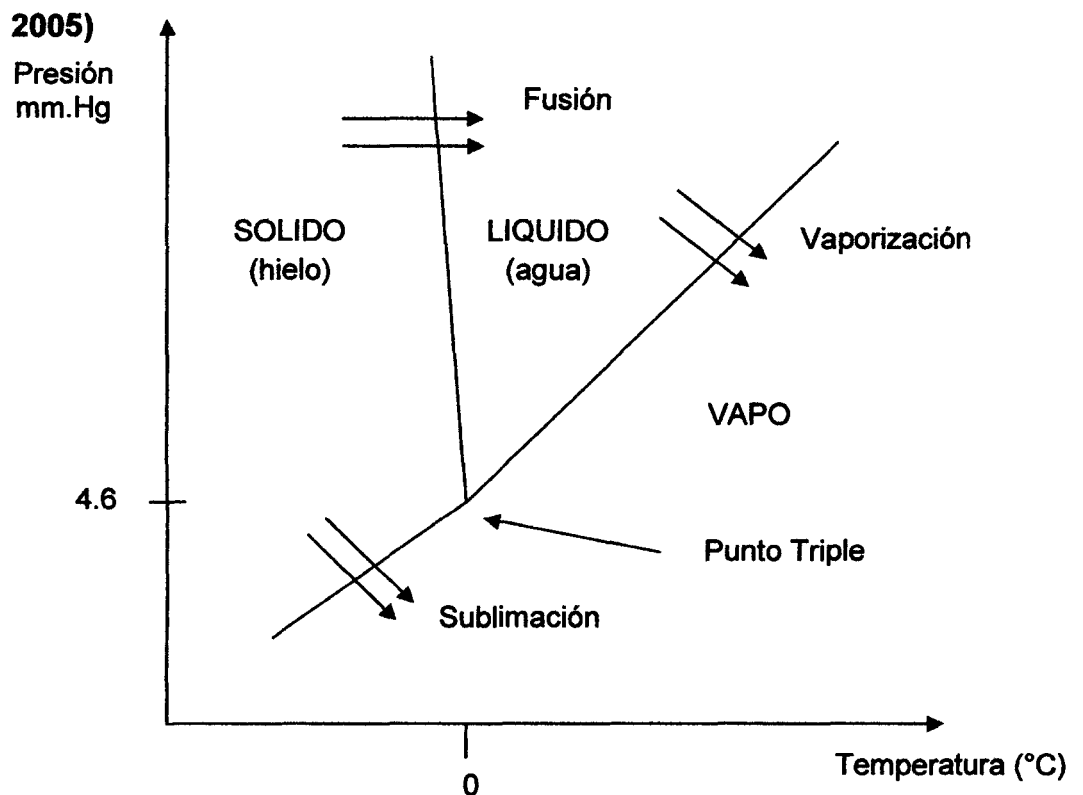


Figura 07: Etapas del Proceso de Liofilización
(Manual básico de Liofilización, 2005)

Después de ser congelado el material, éste es colocado en la cámara de secado (en el liofilizador de Agroindustria, la congelación se realiza en la misma cámara), luego se cierra herméticamente y se aplica vacío, cuando este vacío llega al óptimo (de 50 a 500 mm.Hg. ó 1,3 a 13 pascales), se aplica calor de tal manera que la sublimación tenga lugar.

La sublimación, es un fenómeno endotérmico, para que se realice ésta, se necesita de 680 a 700 Kcal por cada Kg de hielo, luego el secado procede a una velocidad regular y a medida que transcurre el tiempo, el secado se va profundizando en el material congelado y se mueve a la parte mas interna.

El hielo se sublima en forma de vapor de agua, el cual migra facilitado por el vacío producido y nuevamente es congelado en el condensador refrigerado el cual se encuentra generalmente a -55°C , de este modo, el vacío tiene por misión disminuir la presión de los gases incondensables, generalmente aire, a fin de facilitar la transferencia de vapor de agua, pero es el condensador el que elimina constantemente el enorme volumen de vapor de agua emitida por el producto.

La temperatura de los materiales congelados deben controlarse cuidadosamente durante el curso de la sublimación, Si por la fuerte elevación de temperatura en la sublimación se produce fusión, entonces daría paso a la presencia de fluidos intersticiales lo que

puede provocar alteración enzimática y química, pérdida de agentes saborizantes o volátiles, debido a la evaporación libre de las soluciones, el cual es consecuencia del colapso estructural. Por estas razones, el secado primario tiene que llevarse a cabo desde un estado sólido, es decir exclusivamente por sublimación, por lo tanto es importante la temperatura a la cual se debe mantener el material durante el secado, esto se logra cuando el sistema de calentamiento durante la sublimación tenga una temperatura próxima a la del punto eutéctico.

En la liofilización, la calidad del producto final varía dependiendo de sí la porción congelada del producto tiene o no una baja temperatura crítica (temperatura de Colapso) durante la sublimación. Cuando la liofilización es conducida sobre la temperatura de colapso y el producto resultante tiene un pobre aroma retenido, entonces se tendrá una deficiente rehidratación, por ello, la temperatura de colapso establece el límite superior de calentamiento a que puede ser sometido el material durante la sublimación, antes que suceda el colapso estructural.

Como los líquidos (jugos, zumos, purés, etc.) no tienen forma propia, estos están sujetos a la ocurrencia del fenómeno de colapso durante el procesamiento, el colapso afecta la matriz formada por los sólidos del jugo, ya que estos ejercen una función de soporte dentro de la masa, esto se atribuye a una disminución

en la viscosidad de la matriz a tal punto que no puede sostener su propio peso. **(Manual básico de Liofilización, 2005)**

Una forma de prevenir el colapso estructural durante la sublimación, es mediante la adición de agentes coadyuvantes del secado, estos coadyuvantes ayudan a proporcionarle soporte estructural a los líquidos a ser liofilizados, generalmente los agentes son sustancias de alto peso molecular tales como:

- Almidón
- C.M.C.
- Pectina
- Carrageninas
- Alginatos
- Dextrinas

Desorción ó Deseccación Secundaria.

La liofilización no acaba después de la sublimación del agua congelada del material, todos los productos retienen por adsorción, una cantidad de agua la cual no es despreciable y generalmente pone en peligro la conservación del producto.

Al final de la sublimación no hay mas hielo y por lo tanto no hay peligro de fusión si la temperatura aumenta, el agua que queda al

final de la sublimación esta mas o menos fuertemente ligada a los sólidos que componen el producto.

En esta etapa de la liofilización, el fenómeno dominante es la desorción del vapor de agua.

Es conveniente llevar al alimento o producto liofilizado, a un contenido de agua que asegure su máxima conservación, esto equivale al valor de la monocapa (de 2 a 8% aprox.), esta etapa representa una fracción de tiempo total de mas del 40% y que dado los bajos contenidos de humedad con que se opera, puede admitirse que el agua se encuentra retenida por adsorción física.

Una vez finalizada la liofilización, se procede a descargar el producto, para ello es necesario romper el vacío. Debido a que la estructura de los productos liofilizados es altamente porosos y secos, los cuales se comportan como filtros activos muy higroscópicos, es recomendable utilizar gases inertes para lograr este fin, como por ejemplo nitrógeno. Si rompemos el vacío con aire ambiental, es posible que el producto liofilizado absorba agua y oxígeno.

Después de romper el vacío se procede al empaque en envases adecuados que la protejan de la humedad, oxígeno, daño mecánico, luz, etc., estos empaques generalmente son bolsas laminadas y para un excelente traslado estas bolsas pueden ir en

cajas de madera acartonada. **(Manual básico de Liofilización, 2005)**

2.3.2. Secado por aire caliente

Consiste en la eliminación por evaporación de casi toda el agua presente en los alimentos, mediante la aplicación de calor bajo condiciones controladas. La deshidratación de alimentos determina una reducción del peso y, normalmente también, del volumen, por unidad de valor alimenticio, e incrementa la vida útil de los productos desecados en comparación de los correspondientes alimentos frescos. **(McCabe, 1975)**

En la presente tesis uno de los métodos que se va a trabajar es con la desecación con aire caliente para el secado de lúcuma, donde el alimento se pone en contacto con una corriente de aire caliente. El calor se aporta al producto principalmente por convección.

Al desecar un sólido con aire caliente, el aire aporta el calor sensible y el calor latente de evaporación de la humedad y también actúa como gas portador para eliminar el vapor de agua que se forma en la vecindad de la superficie de evaporación. El sólido húmedo se deseca en una corriente de aire caliente que fluye paralelamente a la superficie de desecación. Suponiendo una temperatura y humedad constantes del aire sobre la superficie de

deseccación durante todo el ciclo de desecación y que todo el calor necesario es aportado al producto por convección. Si el cambio del contenido en humedad del producto se registra durante todo el proceso de desecación, los datos pueden representarse en forma de curvas (Figura 08). El estudio de tales curvas muestra que el ciclo de desecación puede considerarse constituido por diversas fases o etapas. **(Brennan, 1980)**

Fase A-B. En esta fase o período de “estabilización” las condiciones de la superficie del sólido se equilibran con las del aire de desecación. Con frecuencia esta fase constituye una proporción despreciable del ciclo total de desecación. **(Brennan, 1980)**

Fase B-C. Esta fase de desecación se conoce como período de velocidad constante y durante el mismo la superficie del sólido se mantiene saturada de agua líquida debido a que el movimiento del agua desde el interior del sólido a la superficie ocurre a la misma velocidad que la de evaporación en la superficie. La desecación tiene lugar por movimiento del vapor de agua desde la superficie saturada, a través de una delgada capa de aire estático, hasta la corriente principal de aire de desecación.

Durante esta fase la velocidad de desecación es dependiente de la velocidad de transferencia de calor a la superficie de desecación. La velocidad de transferencia de masa se equilibra con la velocidad

de transferencia de calor de forma que la temperatura de la superficie se mantiene constante. **(Brennan, 1980)**

La "fuerza motriz" que determina el movimiento del vapor a través de la capa delgada del aire estático es el gradiente en la presión del vapor de agua entre la superficie de desecación y la corriente principal del aire de desecación. Los factores que controlan la velocidad durante el período de velocidad constante son por tanto: el área de la superficie de desecación, la diferencia en temperatura o humedad entre el aire y la superficie de desecación y los coeficientes de transferencia de calor o masa. **(Brennan, 1980)**

Fase C-E. Al avanzar la desecación se alcanza un punto en el que la velocidad de movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce en grado tal que la superficie empieza a secarse. En dicho punto, C, la velocidad de desecación comienza a descender, iniciándose el período de velocidad decreciente. El contenido en humedad del producto en el punto C se denomina contenido crítico de humedad. A partir del punto C la temperatura de la superficie comienza a elevarse, elevación que persiste durante la desecación. Frecuentemente el período de velocidad decreciente consta de dos partes conocidas como primer y segundo períodos de velocidad decreciente, C-D y D-E respectivamente. En el primer período de velocidad decreciente la superficie se seca y disminuye la velocidad de

2.3.3. Cambios en el alimento durante el secado

Los alimentos son complejos y heterogéneos. Entre los componentes de los alimentos figuran proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas, enzimas y sales inorgánicas y muchos de estos componentes están fuertemente hidratados. El agua presente en los alimentos no se encuentra en estado puro sino que puede estar en forma de solución de sólidos, de gel, en emulsión o ligada de diversos modos a los constituyentes sólidos. Además, tanto los tejidos vegetales como animales son de naturaleza celular, hecho que también afecta a su comportamiento durante la desecación. **(Brennan, 1980)**

- **Movimiento de solutos.** Una característica singular e importante de la desecación de alimentos es el movimiento de sólidos solubles que se produce durante la desecación.

El agua líquida que fluye hacia la superficie durante la desecación contiene diversos productos disueltos. El movimiento de algunos compuestos solubles resulta impedido por las paredes celulares que actúan como membranas semipermeables. A la migración de sólidos en los alimentos contribuye también la retracción del producto, que crea presiones en el interior de los pedazos de producto. El resultado neto de estos factores puede ser la

deposición de componentes solubles en la superficie al evaporarse el agua.

También puede ocurrir la migración de sólidos solubles en la dirección opuesta, hacia el interior de la pieza. El que predomine uno u otro de ambos fenómenos depende de las características del producto y de las condiciones de desecación. Se ha demostrado que ambos mecanismos ocurren durante la desecación de alimentos. **(Brennan, 1980)**

- **Retracción.** Durante la desecación de los tejidos animales y vegetales por cualquier método, con la posible excepción de la liofilización, se produce cierto grado de retracción del producto. Por ejemplo la densidad y porosidad de los trozos de verduras desecadas dependen en gran medida de las condiciones de desecación. Si las velocidades iniciales de desecación son altas las capas externas de los trozos se hacen rígidas y los trocitos de verdura adquieren el tamaño final definitivo más precozmente durante la desecación. Entonces las capas exteriores pierden humedad necesariamente antes que las interiores, la concentración de humedad en estas capas es menor que en el interior y las capas superficiales se contraen sobre una parte central dura de volumen constante.

Al continuar la desecación, los tejidos se rompen internamente dando origen a una estructura más abierta. En estas condiciones el producto tiene poca densidad y posee buenas características para la rehidratación. Si las velocidades iniciales de desecación son bajas los trocitos se retraen más y el producto tiene mayor densidad. La retracción de los alimentos durante la desecación puede influir en las velocidades de desecación debido a los cambios en el área de la superficie de desecación y a la creación de gradientes de presión en el interior del producto. **(Brennan, 1980)**

- **Endurecimiento superficial.** Se ha observado que durante la desecación de algunas frutas, carnes y pescados, frecuentemente se forma en la superficie una película impermeable y dura. Esta determina normalmente una reducción de la velocidad de desecación y a este fenómeno se suele denominar endurecimiento superficial.

Aunque el mecanismo exacto del endurecimiento superficial no se conoce bien, es probable que esté influido por múltiples factores, entre los que figuran la migración de sólidos solubles a la superficie y a las elevadas temperaturas que alcanzan en la superficie hacia el final de la desecación

que inducen complejos cambios físicos y químicos en la capa superficial. **(Brennan, 1980)**

- **Movimiento de la humedad en el interior de los sólidos.** Parece deberse a cuatro probables modos de transferencia: el movimiento del líquido a consecuencia de las fuerzas capilares, la difusión del líquido como resultado de los gradientes de concentración, la difusión del vapor debida a los gradientes de presión parcial y la difusión en las capas líquidas adsorbidas a las interfases del sólido. Generalmente el primero tiene mayor importancia en el caso de productos granulares groseros y el último en sólidos de una fase con estructura coloidal o geliforme. En muchos casos ambos mecanismos ocurren en una sola operación de desecación, el movimiento de humedad por capilaridad ocurre en las primeras fases de desecación y el mecanismo difusional cuando el contenido de humedad es bajo. **(Brennan, 1980)**

El secado depende de factores internos y externos, a la vez producen cambios físicos y químicos en los productos.

a) Factores Internos

Los factores internos son aquellos que dependen del material y son difíciles de controlar, cada alimento debido a su composición físico-química se comporta de manera

diferente cuando es deshidratado. El contenido en carbohidratos, grasas, enzimas, proteínas, sales inorgánicas, agua; influye sobre la velocidad de secado, determinando las curvas de secado para cada alimento. **(Brennan, 1980).**

Cuando el tejido está vivo, las paredes celulares y las membranas retienen la humedad dentro de las células. Estas células tienen turgencia y no dejan que escurra. Cuando muere un tejido animal o vegetal, sus células se hacen más permeables a la humedad. Cuando el tejido se blanquea las células se pueden hacer más permeables y generalmente se secan más fácilmente que sus equivalentes crudos, siempre que el cocimiento no haya causado endurecimiento o encogimiento excesivo **(Bravermann, 1980)**

b) Factores Externos

- **Área superficie**

Como norma general la relación entre el tamaño de una pieza y su superficie tiene que ser la menor posible, teniendo en cuenta que las piezas más pequeñas son las que más rápidamente se secan. Debido a que proporcionan más superficie en contacto con el medio de

calentamiento y mayor área desde la cual la humedad puede salir al exterior. Además las partículas pequeñas o capas delgadas reducen la distancia que el calor debe recorrer hasta el centro, así como la distancia que la humedad debe recorrer a fin de llegar a la superficie. **(Bravermann, 1980).**

- **Temperatura del aire**

La redistribución de la humedad interna la cual es un factor determinante, es acelerada cuando se incrementa la temperatura del alimento.

A medida que la humedad del alimento es expulsada, esta tiene que ser alejada de la superficie, pues de lo contrario la humedad crearía una atmósfera saturada que disminuiría la eliminación siguiente del agua. Cuando más caliente este el aire, más humedad podría absorber antes de saturarse. **(Bravermann, 1980).**

2.4. Medición instrumental del color

Las técnicas de medición instrumental de color suelen ser rápidas y simples y son usadas en la investigación en el área de alimentos con el propósito de obtener valores objetivos de memoria (Berset & Caniaux, 1993). Diversos estudios ya demostraron altas correlaciones estadísticas entre los parámetros de color obtenidos por los métodos instrumentales y la concentración de pigmentos y el análisis sensorial (Berset & Caniaux, 1993). Uno de los métodos disponibles más importantes es el sistema de colorimetría triestímulo en la cual señales de una muestra por reflexión o transmisión son convertidas en unidades relacionadas a la manera como el ojo humano ve el color. Un colorímetro triestímulo contiene generalmente tres combinaciones de filtro-fotocélula las cuales imitan las respuestas de los tonos rojos, verdes y azules del ojo (Francis, 1995). Los valores obtenidos por el equipamiento son convertidos en relaciones matemáticas para describir el color, llamados sistemas de color. Diversos sistemas de memoria fueron desarrollados y reglamentados por la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage, o sea, Comisión Internacional de Iluminación). Independiente del sistema adoptado, los datos son proyectados en un sólido de memoria tridimensional, denominado espacio de colores. "Medir el color" significa "localizar el color", en términos de coordenadas dentro de un espacio de colores (Francis, 1995; Lawless & Heymann, 1999).

Cada color tiene su propia apariencia basada en tres elementos: matiz, valor y croma. Al describir un color usando estos tres atributos se identifica con precisión un color específico y se distingue de cualquier otro.

Las preferencias por el color de los alimentos, por ser éste precisamente un factor subjetivo, no son las mismas para cada persona, y varían según las regiones, países o edades. Así, hay quienes prefieren el color moreno al blanco en el azúcar y en la cáscara de los huevos. Sin embargo, y a pesar de estas diferencias, los criterios tienden a ser concordantes y se aceptan como estándares códigos asociados a determinados estados. El verde de las naranjas se relaciona con facilidad con falta de madurez, mientras que el pardo de los plátanos indica que podrían estar estropeándose.

Los alimentos naturales tienen su propio color, pero circunstancias como la variabilidad de las materias primas utilizadas en la elaboración de algunos productos y los procesos tecnológicos empleados (calor, acidez, luz, conservantes), provocan que el color sea distinto en cada lote de producción o bien que las sustancias colorantes naturales terminen por destruirse. Es entonces cuando el color normalizado, el esperado por el consumidor, se obtiene de forma artificial. (Berset & Caniaux, 1993)

Matiz

Cuando se le pida que identifique un color lo primero que probablemente hará es hablar del matiz. Sencillamente el matiz es como se percibe el color de un objeto: rojo, anaranjado, verde, azul, etc. El anillo de color de la figura 9 muestra el continuo de color de un matiz al siguiente. Así como se muestra en el anillo, al mezclar pinturas de azul y verde se obtiene un verde azul. Al mezclar amarillo con verde se obtiene un verde amarillo. (Berset & Caniaux, 1993)

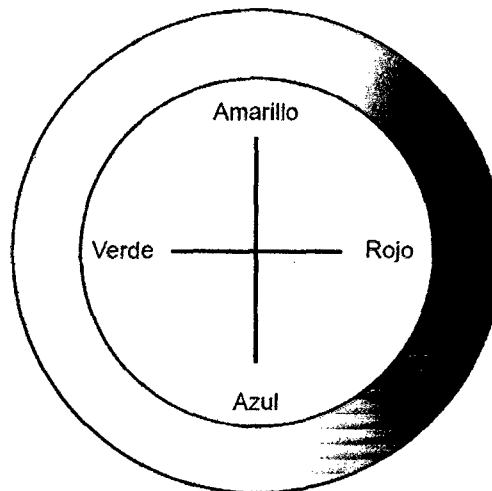


Figura 09: Matiz

Fuente: (Berset & Caniaux, 1993)

Croma

El croma describe lo llamativo o lo apagado de un color - en otras palabras, qué tan cerca está el color ya sea al gris o al matiz puro. Por ejemplo, al comparar un tomate con un rábano, el rojo del tomate es mucho más llamativo mientras que el rábano parece más apagado. La figura 10 muestra cómo cambia el croma conforme nos movemos del centro hacia la periferia. Los colores en el centro son grises (apagados o

sucios) y conforme avanzamos hacia la periferia se vuelven más saturados (vivos o limpios). El croma también se conoce como saturación. (Berset & Caniaux, 1993)

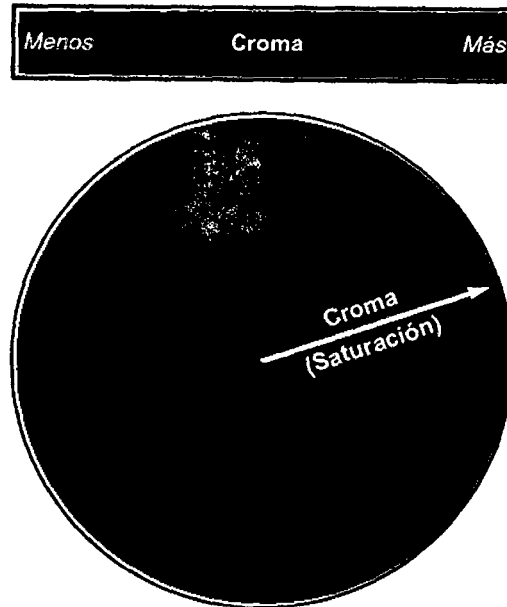


Figura 10: Cromaticidad

Fuente: (Berset & Caniaux, 1993)

Luminosidad

Se llama valor a la intensidad lumínica - es decir, su grado de claridad. Los colores pueden ser clasificados como tenues u oscuros al comparar sus valores. Por ejemplo, cuando se colocan lado a lado un tomate y un rábano el rojo del tomate parece ser mucho más tenue. En contraste el rábano tiene un valor de rojo más oscuro. En la figura 11 se representa la claridad o el valor en el eje vertical. (Berset & Caniaux, 1993)

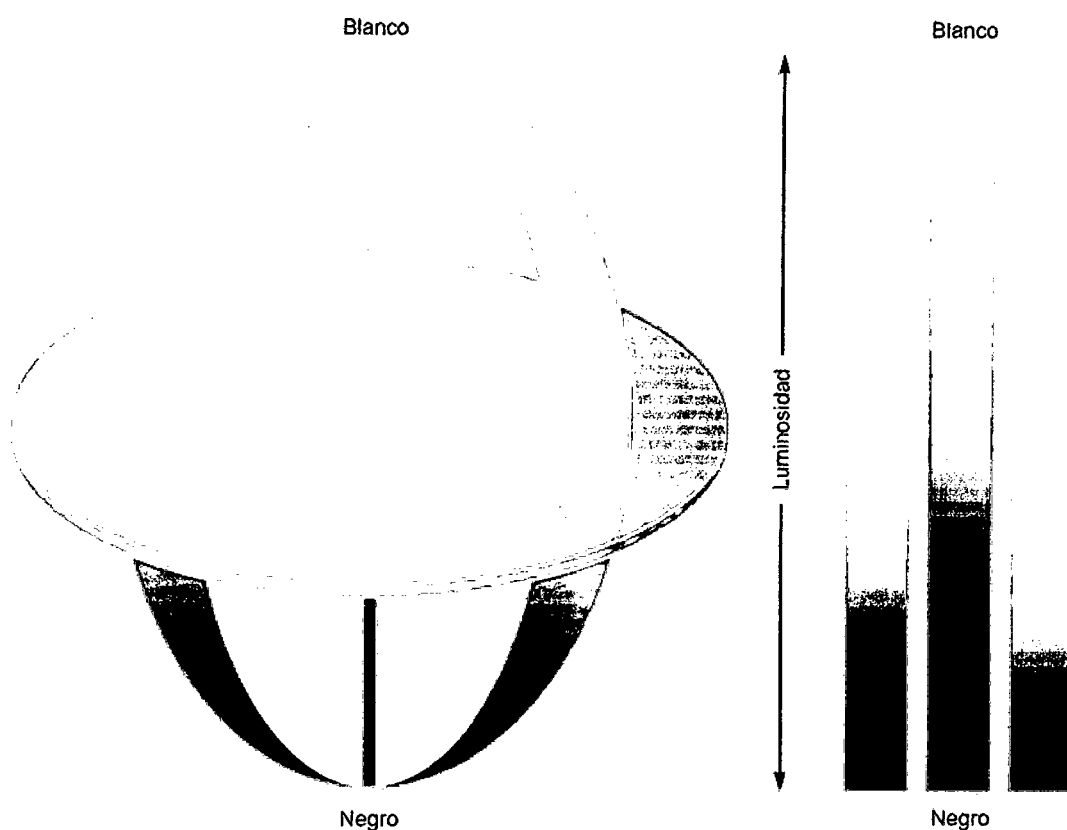


Figura 11: Sistema de color tridimensional que muestra la luminosidad

Fuente: (Berset & Caniaux, 1993)

2.4.1. Sistemas de Color CIE

La CIE o Commission Internationale de l'Eclairage (que se traduce como Comisión Internacional de la Iluminación) es la institución responsable de las recomendaciones internacionales para la fotometría y colorimetría. En 1931 la CIE estandarizó los sistemas de orden de color especificando las fuentes de luz (o iluminantes), el observador y la metodología usada para encontrar los valores para la descripción del color. Los sistemas CIE usan tres

coordenadas para ubicar un color en un espacio de color. Estos espacios de color incluyen:

- CIE XYZ
- CIE L*a*b*
- CIE L*C*h°

Para comprender estos valores debemos entender cómo se calculan. Tal como se mencionó anteriormente nuestros ojos requieren tres cosas para ver color: una fuente de luz, un objeto y un observador/procesador. (Minolta,1991; Hunterlab, 1996)

Lo mismo debe ser cierto para un instrumento que vea color. Los instrumentos de medición de color reciben el color de la misma manera que lo reciben nuestros ojos - mediante la captación y filtrando las longitudes de onda de la luz reflejada por un objeto. El instrumento percibe las longitudes de onda de la luz reflejada como valor numérico. Estos valores se registran como puntos dentro del espectro visible y se llaman datos espectrales. Los datos espectrales se representan como una curva espectral. Esta curva es la huella digital del color (figura 12). (Minolta,1991; Hunterlab, 1996)

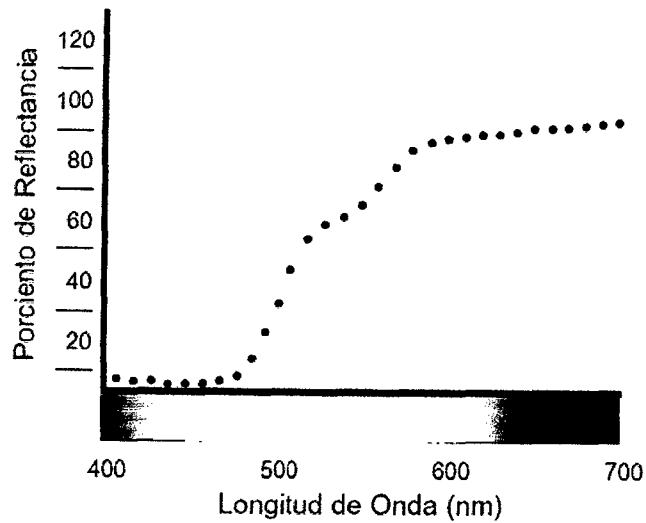


Figura 12: Curva espectral de una muestra medida

Fuente : (Minolta,1991; Hunterlab, 1996)

Una vez que obtuvimos la curva de reflectancia de un color podemos aplicar las matemáticas para colocar el color en un espacio de color. Para ello tomamos la curva de reflectancia y multiplicamos los valores por los datos de un iluminante estándar CIE. El iluminante es una representación gráfica de la fuente de luz bajo la cual se ven las muestras. Cada fuente de luz tiene una distribución de energía que afecta el modo en que vemos el color. Como ejemplos de los diferentes iluminantes tenemos A - incandescente, D65 - luz de día (figura 13) y F2 - fluorescente. (Minolta,1991; Hunterlab, 1996)

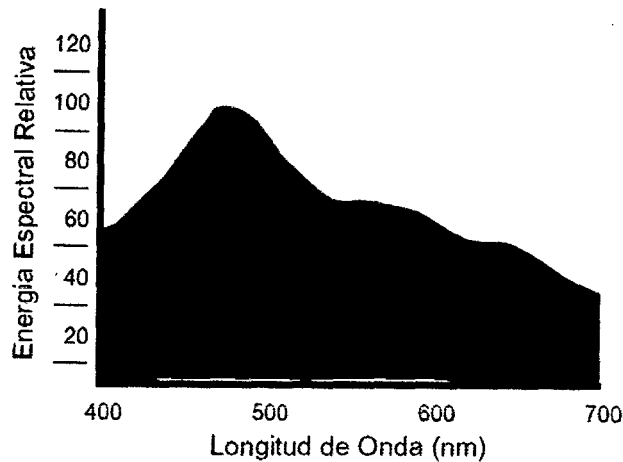


Figura 13: Luz de día (iluminante estándar D65/10°)

Fuente: (Minolta,1991; Hunterlab, 1996)

Multiplicamos el resultado de este cálculo por el observador estándar CIE. La CIE comisionó el trabajo para derivar el concepto de observador estándar en 1931 y en 1964, el cual se basa en la respuesta humana promedio a las longitudes de onda de la luz.

En resumen, el observador estándar representa cómo la persona promedio ve el color a través del espectro visible. Una vez que se calcularon estos valores se convierten los datos en los valores triestímulares XYZ. Estos valores ahora pueden identificar un color numéricamente. (Minolta,1991; Hunterlab, 1996)

La expresión Numérica del Color

Para superar los límites de los diagramas de cromaticidad tales como Yxy, la CIE recomendó dos escalas de color uniforme alternativas: la CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) o CIELAB y la CIELH ($L^*C^*h^\circ$). Estas escalas de color se

basan en la teoría de los colores opuestos que establece que un color no puede ser verde y rojo al mismo tiempo. Como resultado se pueden usar valores sencillos para describir los atributos rojo/verde y amarillo/azul. (Minolta, 1991; Hunterlab, 1996)

2.4.1.1. CIELAB ($L^*a^*b^*$)

En 1976, con la intención de establecer un patrón, la CIE recomendó la utilización de la escala de memoria CIE $L^* a^* b^*$ (o CIELAB). El sistema de memoria CIELAB mas próximamente representa la sensibilidad humana para color, pues es a escala de memoria mas uniforme y lineal. En una escala de color uniforme, distancias iguales entre dos puntos en el grafico corresponden a las diferencias igualmente percibidas por el ojo humano (Minolta, 1991; Hunterlab, 1996). El espacio de colores CIELAB es organizado en coordenadas rectangulares cartesianas, conforme a la figura 09. El eje L^* va del tope a la base, siendo que el valor máximo de L^* es 100 (blanco) y el mínimo es cero, lo cual representa el negro. Los ejes a^* y b^* no tiene límites numéricos específicos, de forma que el rojo es representado por $+a$ y el verde por $-a$; el amarillo como $+b$ y la azul $-b$ (Hunterlab, 1996; Lawless & Heymann, 1999).

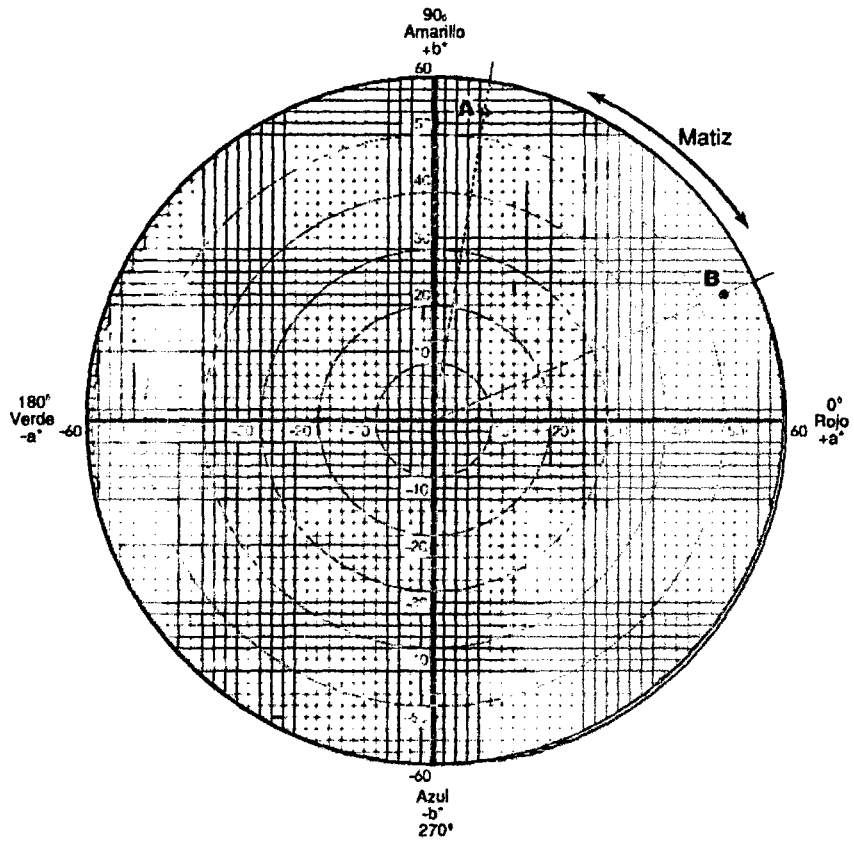


Figura 14: Grafica de color CIELAB

Fuente: (Minolta,1991; Hunterlab, 1996)



Figura 15: El espacio de color CIELAB

Fuente: (Minolta,1991; Hunterlab, 1996)

2.4.1.2. CIELCH (L*C*h°)

Mientras CIELAB utiliza coordenadas cartesianas para calcular el color en un espacio el CIELCH emplea coordenadas polares. Esta expresión de color se puede derivar de CIELAB. La L* define la claridad, C especifica el croma y la h° denota el ángulo en una medición polar.

La expresión L*C*h° ofrece una ventaja sobre CIELAB ya que es fácil de correlacionar con los sistemas anteriores basados en muestras físicas.

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$h^\circ = \arctan (b^*/a^*)$$

X_n, Y_n, Z_n son los valores para un blanco de referencia para el iluminante / observador usado. (Minolta, 1991; Hunterlab, 1996)

2.4.2. Diferencias de Color, Notación y Tolerancia

Delta CIEL*a*b* y CIEL*C*H*

El análisis de color es más que una expresión numérica. Normalmente es un análisis de la igualdad o diferencia de un color al compararlo con una norma establecida. CIELAB y CIELCH se emplean para comparar los colores de dos objetos.

Las expresiones de esta diferencia de color son ΔL^* Δa^* Δb^* o DL^* Da^* Db^* y ΔL^* ΔC^* Δh° o DL^* DC^* Dh° . (Δ o D provienen del símbolo "delta", que quiere decir "diferencia".) Dados ΔL^* Δa^* Δb^* la diferencia total o distancia en el diagrama CIELAB puede ser expresado como un valor único conocido como ΔE^* . (Minolta,1991; Hunterlab, 1996)

$$\Delta E^*_{ab} = [\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]^{1/2}$$

Notación del espacio de color CIELAB

ΔL^* = diferencia en el valor de claridad/obscuridad

+ = más claro

- = más oscuro

Δa^* = diferencia en el eje rojo/verde

+ = más rojo

- = más verde

Δb^* = diferencia en el eje amarillo/azul

+ = más amarillo

- = más azul

ΔC^* = diferencia en el croma

+ = más brillante

- = más opaco

ΔH° = diferencia en el matiz

ΔE^* = valor de la diferencia total de color

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

- Laboratorio de investigación y Desarrollo de Productos Agroindustriales de la E.A.P. Ingeniería Agroindustrial –Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Operaciones Unitarias y Automatización de la E.A.P. Ingeniería Agroindustrial–Universidad Nacional del Santa.
- Planta Piloto de la E.A.P. Ingeniería Agroindustrial –Universidad Nacional del Santa.

3.2. Materiales

3.2.1. Materia prima

La materia prima utilizada es la Lúcumá de la variedad de Seda, y se seleccionó de acuerdo a su estadio de madurez.

3.2.2. Reactivos e insumos

- Hidróxido de sodio 0.1N (NaOH)
- Fenolftaleína
- Agua destilada
- Hexano

3.2.3. Materiales de vidrio y otros

- Vaso de precipitado: 50, 100 y 200 ml, marca PIREX.
- Probeta: 50, 100 y 200 ml, marca PIREX.
- Tubos de ensayo.
- Placas petri, marca PIREX.

- Mortero de vidrio.
- Pipetas: 1 y 10 ml.
- Bureta.
- Termómetro.
- Cucharas.
- Cuchillos.
- Rallador.
- Colador.
- Juego de tamices N° 10,18,60,120
- Papel filtro

3.2.4. Equipos e instrumentos

- Liofilizador, marca Labconco modelo 18

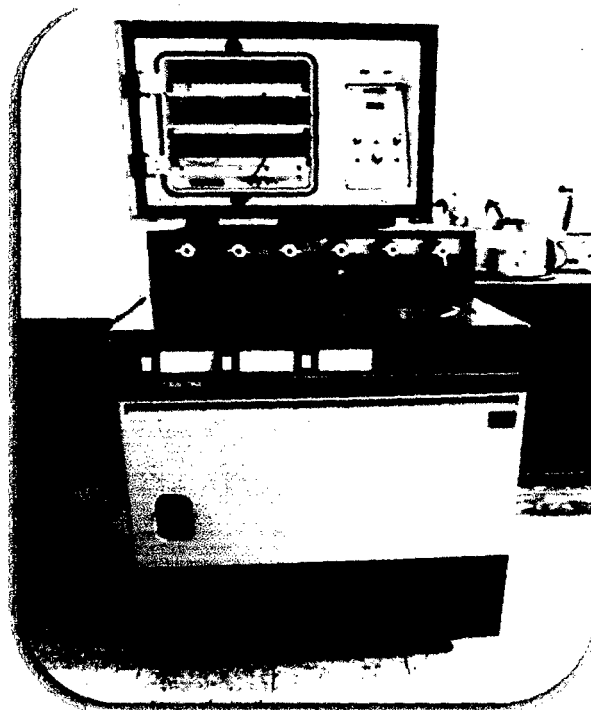


Figura 16: Liofilizador

- Estufa Electrica (Selecta), modelo U9600

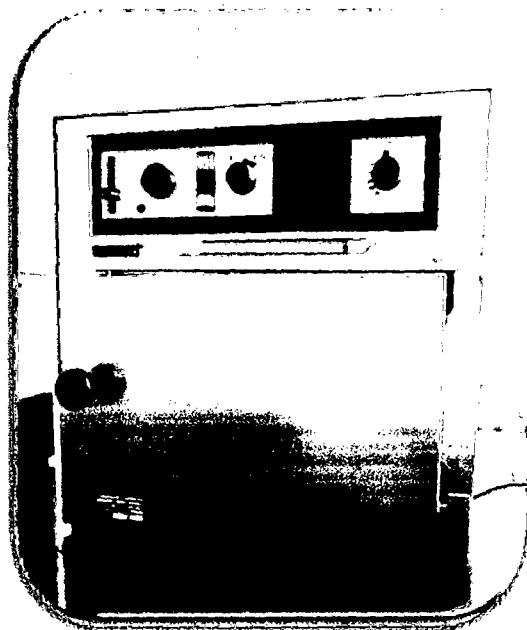


Figura 17: Estufa Electrica

- Balanza Analítica, marca Typ U3600, SARTORIUS.

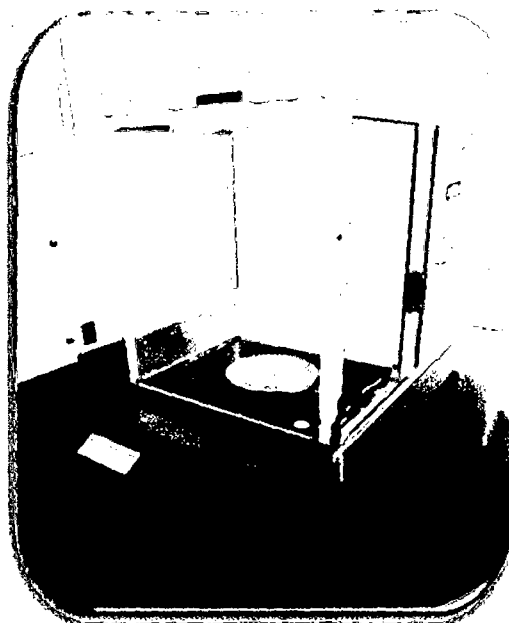


Figura 18: Balanza Analítica

- pH metro, mod. P4-506

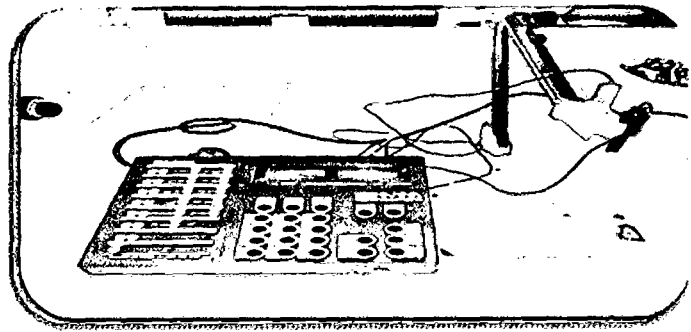


Figura 19: pH metro

- Colorímetro Konica Minolta.

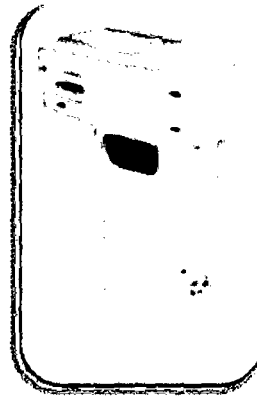


Figura 20: Colorímetro

- Mufla (Marca: Thermolyne type 1300 furnace)

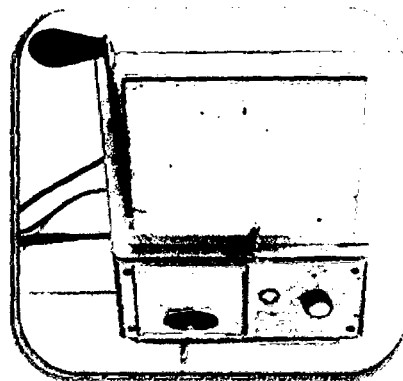


Figura 21: Mufla

- Secador de aire caliente (adecuación del secador solar con resistencias eléctricas y ventilador).



Figura 22: Secador de aire caliente

- Molino manual



Figura 23: Molino manual

- Balanza de precisión modelo 500 Electronic Pocket Scale Max. 500gr.

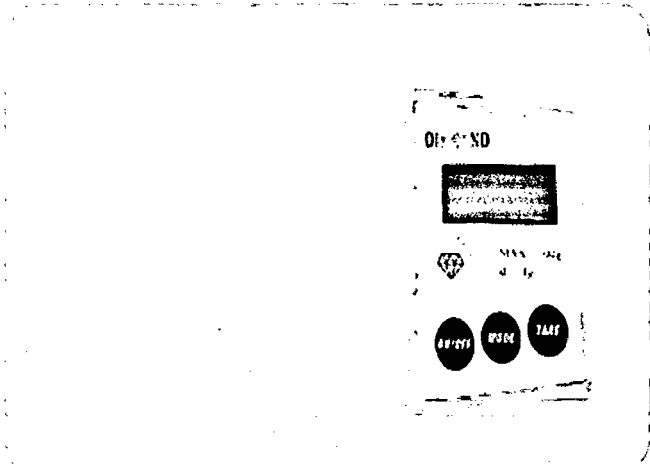


Figura 24: Balanza de precisión

3.3. Métodos

3.3.1. Metodología para la obtención de harina de Lúcumá

3.3.1.1. Selección y clasificación

Esta operación consistió en la selección y clasificación homogénea de la materia prima, es decir un mismo tamaño, peso y estado de madurez. Separando los frutos dañados.

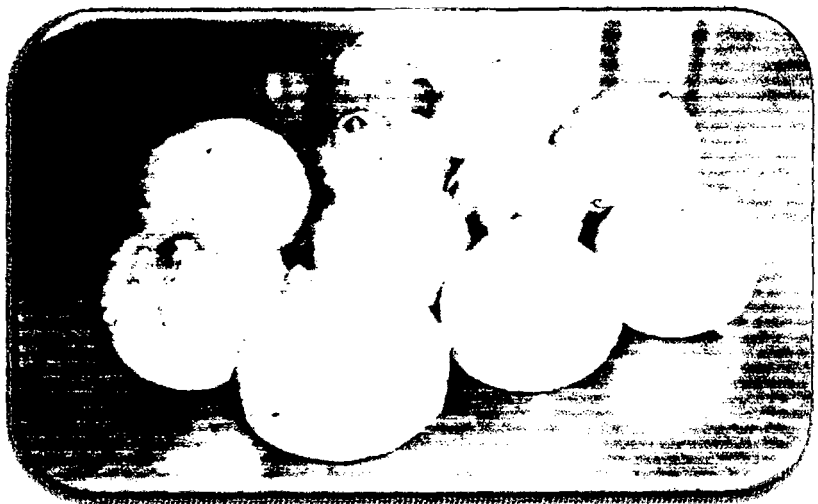


Figura 25: Selección y clasificación

3.3.1.2. Lavado

Para el lavado y desinfección de la fruta, se utilizó una solución de Hipoclorito de sodio al 0.05 %, sumergiéndose por un tiempo de 15 minutos.

3.3.1.3. Escaldado

La fruta entera se sumergió en agua a una temperatura de ebullición por 5 minutos, con la finalidad de inactivar las enzimas que puedan alterar la calidad del producto, esto solo se hizo para los tratamientos indicados.

3.3.1.4. Pelado

Se realizo de forma manual empleándose, cuchillos de acero inoxidable, con la finalidad de remover la cáscara de la fruta evitándose excesiva pérdidas de pulpa.

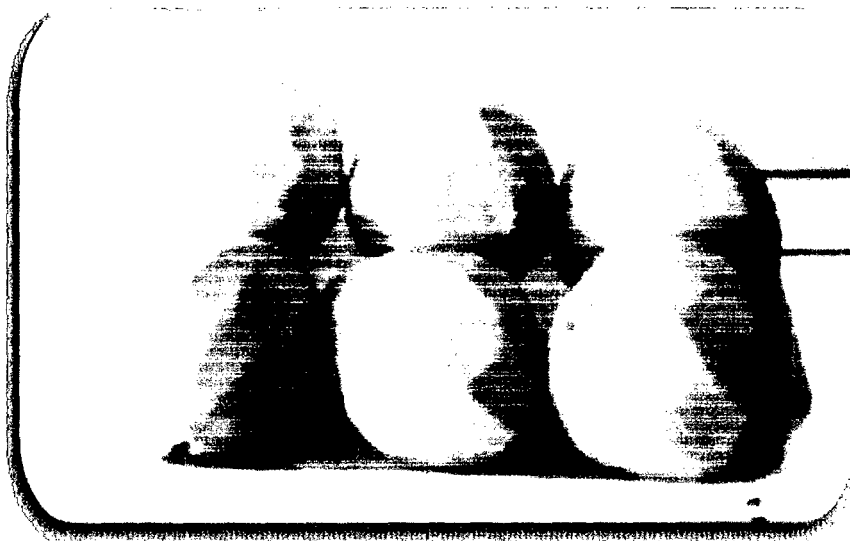


Figura 26: Pelado

3.3.1.5. Cortado

Inmediatamente después del pelado de la fruta, fueron cortados en rodajas de 5 mm de espesor, permitiendo un menor tiempo de secado.

3.3.1.6. Embandejado

Para evaluar la densidad de carga, la lúcuma fue cortada en rodajas y se colocó en las bandejas del deshidratador a dos densidades: 3 y 5 kg/m²

En el secado por Liofilización, para determinación de la densidad de carga, se realizó proporcionalmente, determinándose el área de las placas del liofilizador, y se utilizó menor cantidad de muestra por cada área.

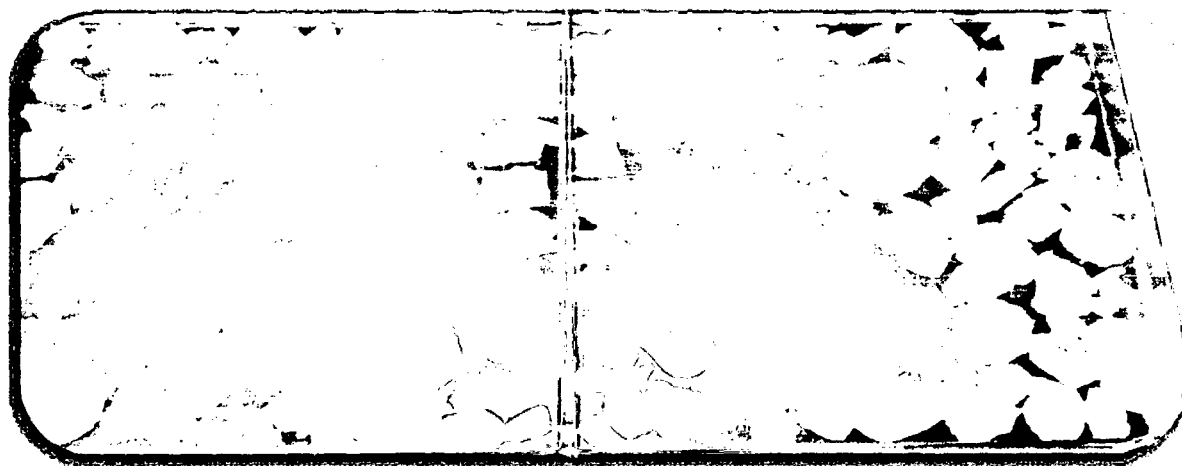


Figura 27: Embandejado

3.3.1.7. Secado

Se ensayaron 2 métodos de deshidratación:

Secado por aire caliente

Las rodajas de lúcuma (5 mm), se depositaron en las bandejas del secador con las densidades de carga establecidas (3 y 5 kg/m²). Se realizaron pruebas preliminares para determinar los parámetros óptimos del proceso y que no influyan en sus características.

Cuadro 04: Parámetros para el secado por aire caliente de la lúcuma

PARAMETROS	VALOR
Sólidos totales	30 °Brix
Temperatura del aire a la entrada	60-70 °C
Densidad de carga	3 y 5 kg/m ²
Tiempo	8-10horas

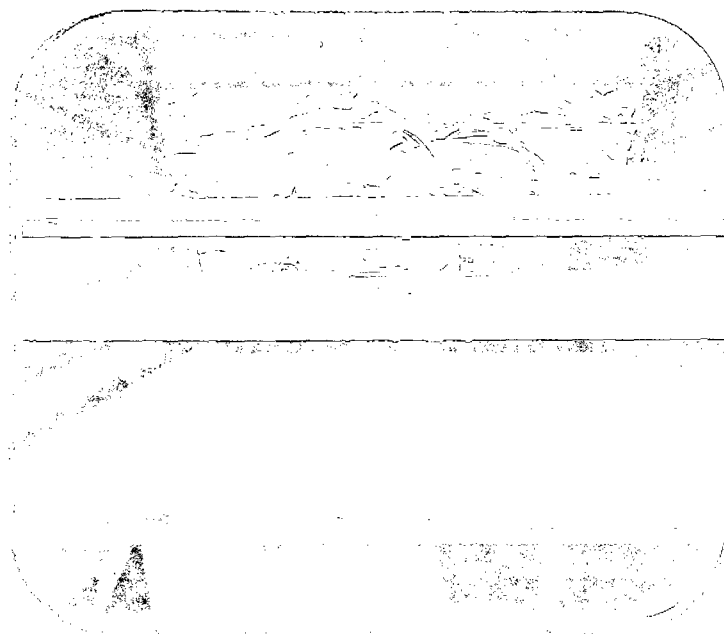


Figura 28: Secado por aire caliente

Secado por Liofilización

Se empleo dos placas de acero inoxidable, por lo cual se realizo según proporción de acuerdo a las densidades de carga y el área de las placas, de esta manera se utilizo una menor cantidad de muestra permitiendo reducir el tiempo de secado por liofilización. Se realizo un control permanente de la temperatura de Liofilización. Se realizaron pruebas preliminares para determinar los parámetros óptimos de secado por Liofilización.

**Cuadro 05: Parámetros para el secado por
liofilización de la lúcuma**

PARAMETROS	VALOR
Sólidos totales	30 °Brix
Densidad de carga	3 y 5 kg/m²
Temperatura de congelación	-11 °C
Temperatura de placa final	38 -39 °C
Tiempo	7 -9 horas

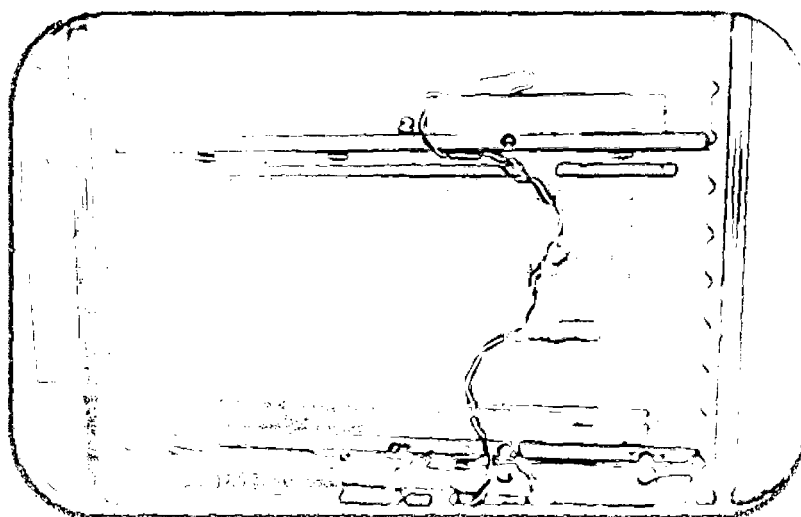


Figura 29: Secado por Liofilizacion

3.3.1.8. Molienda

Después que la materia prima fue secada, se obtuvo las hojuelas las cuales, inmediatamente se sometieron a la molienda, para evitar que esta gane humedad del medio ambiente, haciendo uso de un molino hasta la obtención de harina de lúcuma homogénea.

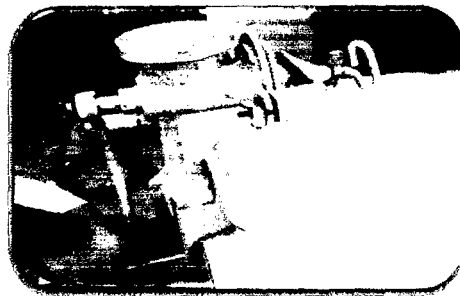


Figura 30: Molienda

3.3.1.9. Tamizado

Para uniformizar el tamaño y obtener un producto de características físico-químicas y organolépticas aceptables, se utilizó diferentes tamices de N° de malla de: 8, 16, 30, 50, 100 y 200; obteniéndose una harina de lúcuma homogénea.

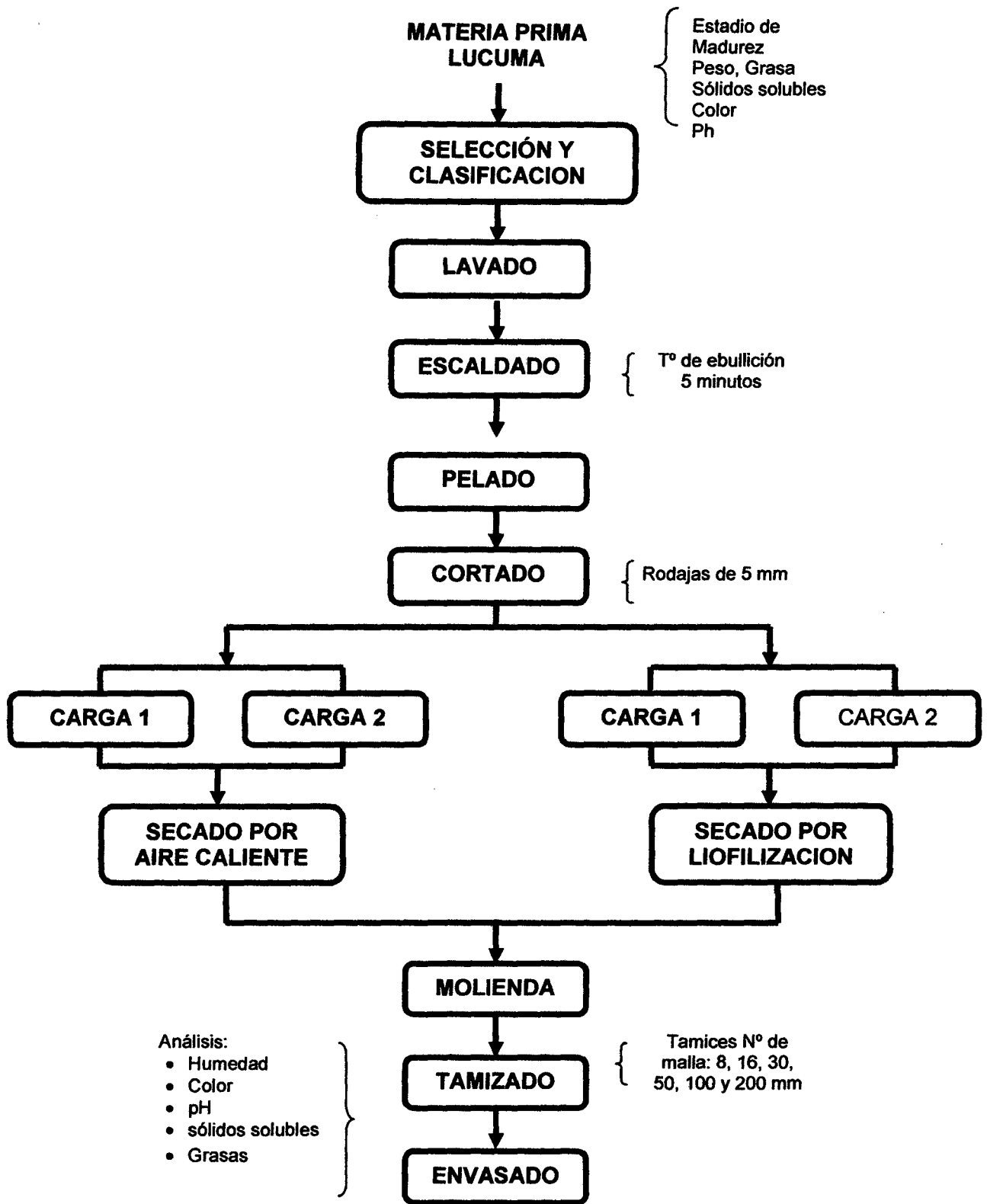


Figura 31. Diagrama de flujo para la obtención de Harina de lúcuma deshidratada por dos métodos de secado.

3.3.2. Análisis Fisicoquímicos para la materia prima y producto final.

3.3.2.1. Determinación de la humedad:

La determinación del contenido de humedad fue determinada en estufa a temperatura de 105°C x 3 hr, según el método AOAC N° 981.05(1980)

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P_1 - P_2)}{m} \times 100$$

Donde:

P₁= Peso de la placa más muestra.

P₂= Peso de la placa más muestra seca

m= Peso de la muestra.

3.3.2.2. Determinación de pH:

El potenciómetro fue calibrado inicialmente a través de soluciones tampón patrones de pH 4.01 a 7.00 en un pH-metro digital, según el método AOAC N° 935.15 (1980).

3.3.2.3. Determinación de Sólidos solubles (°Brix)

El contenido de sólidos solubles de la muestra fue determinado directamente por lectura en el refractómetro ABBE, calibrado inicialmente con agua destilada.

3.3.2.4. Determinación de Cenizas

Se realizo por incineración en la Mufla, según el método AAOC, 1993. Se utilizo una temperatura de 550°C por 4 horas.

$$\% \text{Cenizas} = \frac{(P_1 - P_2)}{m} \times 100$$

Donde:

P_1 = Peso del crisol más muestra.

P_2 = Peso del crisol más muestra incinerada.

m = Peso de la muestra.

3.3.2.5. Determinación de grasas

Se realizo por el método de Soxhlet, según el método AOAC, 1990.

$$\% \text{Grasa} = \frac{m_2 - m_1}{M} \times 100\%$$

Donde:

m_1 = Masa en g del balón vacío.

m_2 = Masa en g del balón con grasa tras el secado.

M = Peso de la muestra en g.

3.3.2.6. Análisis Granulométrico

Se empleo el método de separación mecánica utilizándose 100 gr. De harina en un juego de tamices Nº 08 ,16, 30, 50, 100 y 200 sometidos a una acción vibratoria durante 10 segundos de 5 repeticiones, posteriormente se sometieron a una clasificación y se determino el modulo de finura. (Total/100).

Finalmente se comparan con los valores normados por ITINTEC

Cuadro 06: Clasificación ITINTEC

0 - 2	Fino
2 - 4	Mediano
Más de 4	Grueso

3.3.2.7. Determinación del índice de color

Se determino directamente en el colorímetro Konica Minolta, y se empleo el sistema CIELAB obteniéndose los valores de L, a, b.

L corresponde a la luminosidad, a y b son coordenadas de cromaticidad.

$$\text{Hue} = \tan^{-1} (b^*/a^*)^2$$

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$$

3.3.3. Análisis sensorial

Según Aldazúa (1994), se realizó mediante la escala hedónica, este test permite hacer una evaluación comparativa de las muestras en estudio. El cuestionario de la ficha se diseñó de tal forma que los panelistas evaluaron e informaron separadamente sobre cada una de las características solicitadas como: color, olor, sabor y textura. Este test se desarrolló para los tratamientos en estudio, empleando 12 panelistas. El modelo de análisis de varianza para la interpretación de los resultados.

Cuadro 07: ANVA PARA EL ANÁLISIS SENSORIAL

FUENTE DE VARIABILIDAD	GL
Efecto de los panelistas	23
Efecto del tratamiento	7
Error experimental	161
Total	191

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza se aplicó una prueba de comparación de medias, mediante el modelo de DUNCAN, con un nivel de 5% de probabilidad.

3.3.4. Diseño Experimental

El modelo estadístico empleado fue:

$$Y = \mu + \gamma_i + \beta_j + G_k + E_{ijk}$$

Donde:

Y = variable respuesta (estabilidad del producto terminado)

μ = media general

γ_i = efecto de técnica de secado

β_j = efecto del escaldado

G_k = efecto de carga

E_{ijk} = efecto del error

El diseño estadístico empleado fue el bloque completo al azar (DBCA) con arreglo factorial: 2x2x2, con 3 repeticiones, cuyos resultados se evaluarán mediante modelo estadístico descrito antes, siendo empleado el esquema siguiente para la toma de datos.

CUADRO 08: Esquema del diseño experimental D.B.C.A. con arreglo factorial

T (repeticiones) (bloques)	S ₀				S ₁			
	E ₀		E ₁		E ₀		E ₁	
	C ₀	C ₁	C ₀	C ₁	C ₀	C ₁	C ₀	C ₁
1	R ₀₁	R ₁₁	R ₀₁	R ₁₁	R ₀₁	R ₁₁	R ₀₁	R ₁₁
2	R ₀₂	R ₁₂	R ₀₂	R ₁₂	R ₀₂	R ₁₂	R ₀₂	R ₁₂
3	R ₀₃	R ₁₃	R ₀₃	R ₁₃	R ₀₃	R ₁₃	R ₀₃	R ₁₃

Donde:

- **S:** Secado (0 = Liofilización, 1 = aire caliente)
- **E:** Escaldado (0 = con escaldado, 1 = sin escaldado)
- **C:** Densidad de Carga (0= 3 kg/m², 1=5kg/m²)
- **T:** repeticiones

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Obtención de Harina de Lúcumá

4.1.1. Análisis fisicoquímico de la materia prima

Los resultados de los análisis correspondientes se observan en el cuadro 09.

Cuadro 09: Análisis Fisicoquímico de la materia prima

COMPONENTES	CANTIDAD
Humedad (%)	72
Cenizas (%)	0.75
Sólidos Solubles (° Brax)	30
pH	5.56
Grasa (%)	0.38

En el cuadro 09 se observa el porcentaje de Humedad y cenizas son similares a los reportados por Villanueva, (2002); esto nos indica que la materia prima esta dentro de los parámetros normales.

Con respecto a los sólidos solubles y el pH, la lúcumá es un fruto de alto contenido de azúcares y el pH es elevado, mientras que su contenido graso es bajo comparado con los sólidos solubles.

4.2. Evaluación del efecto de secado sobre las características del producto

4.2.1. Análisis fisicoquímico de la Harina de Lúcumá

Los resultados de los análisis fisicoquímicos se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10: Características fisicoquímicas de la Harina de Lúcumá.

Componentes	Secado por Liofilización				Secado por Aire Caliente			
	Con Escaldado		Sin Escaldado		Con Escaldado		Sin Escaldado	
	3kg/m ²	5kg/m ²	3kg/m ²	5kg/m ²	3kg/m ²	5kg/m ²	3kg/m ²	5kg/m ²
Humedad (%)	8.26	9.00	8.90	9.13	8.56	8.70	9.93	9.98
Cenizas	2.28	2.10	2.13	2.17	2.09	2.03	2.05	1.99
pH	5.55	5.37	5.74	5.70	6.31	6.22	6.25	6.15
Grasa	2.3	2.1	2.2	2.06	2.31	2.34	2.05	2.02

En el cuadro se observa que cuando se liofiliza con mayor densidad de carga se logran productos con mayor humedad, mientras que lo contrario sucede a menor densidad de carga, este hecho se explica porque la energía necesaria para eliminar agua del producto con mayor densidad de carga, es mayor, además el flujo de vapor de agua del producto hasta el condensador es más lento porque tiene que recorrer mayor espesor del producto.

Con respecto al contenido de cenizas, pH y grasa, los valores son los esperados, pues a la temperatura y tiempo de secado por

liofilización o aire caliente son relativamente bajos y no causan modificación sustancial de sus valores.

4.2.2. Análisis granulométrico

Mediante el uso de un juego de tamices, con abertura de malla desde 75 mm a 2360 mm, se realizó el análisis granulométrico para la harina de lúcuma obtenida por liofilización y aire caliente, conforme a las normas del (ITINTEC, 1988).

En el cuadro 11 se presenta los resultados del análisis granulométrico.

CUADRO 11: Análisis granulométrico de la Harina de Lúcuma

Tipo de Harina de Lúcuma	Modulo de finura
Liofilizada sin Escaldado y $\rho=3\text{kg/m}^2$	1.38425
Liofilizada sin Escaldado y $\rho=5\text{kg/m}^2$	1.4699
Liofilizada con Escaldado y $\rho=3\text{kg/m}^2$	1.4698
Liofilizada con Escaldado y $\rho=5\text{kg/m}^2$	1.48605
Aire caliente sin Escaldado y $\rho=3\text{kg/m}^2$	1.489
Aire caliente sin Escaldado y $\rho=5\text{kg/m}^2$	1.51065
Aire caliente con Escaldado y $\rho=3\text{kg/m}^2$	1.3759
Aire caliente con Escaldado y $\rho=5\text{kg/m}^2$	1.3678

Fuente: Elaborada a base del Anexo 01

En el cuadro 11 se observa la clasificación de granulometría en función al % de material retenido en los diferentes tamices, calificándose para todas ellas como harina fina (Itintec, 1988), de ello deducimos que el tipo de secado y tratamiento de escaldado al que fue sometida la materia prima para obtener harina, no afecto significativamente su granulometría.

4.2.3. Índice de color.

En el cuadro 12, se presentan los resultados de la comparación de la variación de color entre los métodos de secado aire caliente y liofilizado.

Cuadro 12: Datos experimentales de la comparación de la variación de color entre los métodos de secado de aire caliente y liofilizado.

F.V	GL	SC	CM	FC	F _{tab}
Efecto de A (Secado)	2	1.33801922	0.66900961	1.03748884	3.68
Efecto de B (densidad de carga)	1	264.351154	264.351154	409.951321	4.54
Efecto de C (Escaldado)	1	270.306946	270.306946	419.187463	4.54
Efecto de AB	1	4.56023869	4.56023869	7.07194141	4.54
Efecto de BC	1	8.0465169	8.0465169	12.478403	4.54
Efecto de AC	1	8.75782293	8.75782293	13.5814844	4.54
Efecto de ABC	1	38.5987047	38.5987047	59.8582217	4.54
Efecto del error	1	100.332562	100.332562	155.594049	4.54
Total	14	9.02769663	0.64483547		

	L*	a*	b*	C*	H*	ΔL	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE
(MP)	78	21.4	66.71	70.0584335	72.2142014						
a1b1c1	84.3	8.45	64.33	64.8825971	82.5168144	6.3	-12.95	-2.38	-5.17583642	10.302613	14.5964688
	83.21	7.96	63.71	64.2053401	82.8783042	5.21	-13.44	-3	-5.85309335	10.6641028	14.7233726
	83.43	8.41	62.96	63.5192073	82.3916469	5.43	-12.99	-3.75	-6.53922614	10.1774455	14.5700892
a1b1c2	82.74	8.07	63.12	63.6337906	82.7141632	4.74	-13.33	-3.59	-6.42464292	10.4999618	14.5960474
	81.73	7.12	62.27	62.6757313	83.4770842	3.73	-14.28	-4.44	-7.38270212	11.2628828	15.4124917
	82.9	6.88	61.03	61.4165719	83.5681186	4.9	-14.52	-5.68	-8.6418616	11.3539172	16.34328
a1b2c1	84.74	10.1	66.85	67.6086718	81.4084731	6.74	-11.3	0.14	-2.44976169	9.19427173	13.158161
	84.9	10.28	65.78	66.5784259	81.1177466	6.9	-11.12	-0.93	-3.48000753	8.90354519	13.1198056
	85.6	11.6	65.12	66.1451011	79.8996919	7.6	-9.8	-1.59	-3.91333236	7.68549048	12.5031236
a1b2c2	84.54	9.7	65.78	66.4913408	81.6115468	6.54	-11.7	-0.93	-3.56709268	9.39734539	13.436015
	83.5	9.04	64.98	65.6058077	82.0798618	5.5	-12.36	-1.73	-4.4526258	9.86566042	13.63864
	84.21	9.56	64.51	65.2145206	81.5704559	6.21	-11.84	-2.2	-4.84391285	9.35625448	13.5495277
a2b1c1	75.25	3.68	49.87	50.0055927	85.779687	-2.75	-17.72	-16.84	-20.0528408	13.5654856	24.5997256
	74.92	3.86	49.59	49.740001	85.5491698	-3.08	-17.54	-17.12	-20.3184325	13.3349684	24.7028824
	74.99	3.83	49.87	50.0168552	85.6083233	-3.01	-17.57	-16.84	-20.0415783	13.3941219	24.5224509
a2b1c2	73.78	3.39	42.76	42.8941686	85.4670887	-4.22	-18.01	-23.95	-27.1642649	13.2528873	30.2617085
	72.97	1.64	43.65	43.6807978	87.8483184	-5.03	-19.76	-23.06	-26.3776356	15.634117	30.7818469
	72.41	2.53	42.62	42.6950266	86.6028059	-5.59	-18.87	-24.09	-27.3634068	14.3886045	31.107123
a2b2c1	81.06	5.78	55.55	55.8498962	84.0597268	3.06	-15.62	-11.16	-14.2085373	11.8455254	19.4394856
	80.74	5.69	55.43	55.7212796	84.1390031	2.74	-15.71	-11.28	-14.3371539	11.9248017	19.5333075
	79.37	5.44	55.25	55.5171694	84.3766947	1.37	-15.96	-11.46	-14.5412641	12.1624933	19.6959412
a2b2c2	76.61	4.02	51.94	52.0953357	85.5743018	-1.39	-17.38	-14.77	-17.9630978	13.3601003	22.8505886
	77.6	4.61	50.64	50.8494022	84.7984302	-0.4	-16.79	-16.07	-19.2090313	12.5842287	23.2445477
	75.32	5.06	51.54	51.7877901	84.3928883	-2.68	-16.34	-15.17	-18.2706434	12.1786869	22.4567785

Donde:

L^* =Luminosidad

a^* = Cromaticidad rojo/verde

b^* =Cromaticidad amarillo/azul

C^* =Saturación cromática

H^* =Angulo matiz

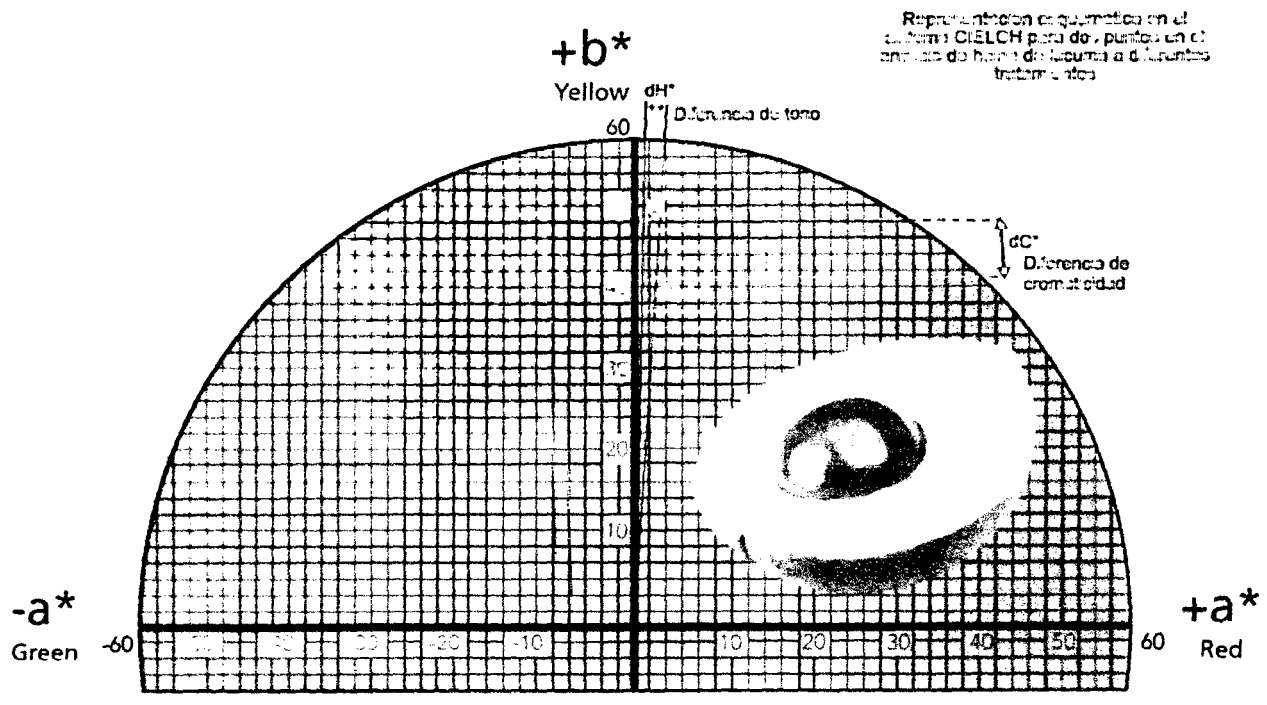
ΔL =Diferencia de luminosidad

ΔC = Diferencia de cromaticidad

ΔE =Diferencia total del color

El cuadro 13 resume los valores de los parámetros cromáticos obtenidos para los distintos tratamientos de harina de lúcuma. En la tabla se incluyen, las repeticiones que se tomaron para los tratamientos correspondientes. La mayor variación de color ocurre en "a2b1c2" (secado por aire caliente, sin escaldado y con una densidad de carga de 5 kg/m²) con un valor promedio de $\Delta E = 30.72$ siendo la menor variación de color para el tratamiento "a1b2c1" (liofilizado, con escaldado y densidad de carga de 3 kg/m²) con un valor promedio de de $\Delta E = 12.93$. El impacto sobre otras variables cromáticas es complejo y puede verse en detalle en el cuadro 13.

Fig 32: Representación esquemática de las mediciones del color de la lúcuma en el sistema CIELCH



4.3. Obtención y Evaluación de los perfiles de temperatura

4.3.1. En el Secado por Liofilización

Para la aplicación del método se considero las características fisicoquímicas de la materia prima, posteriormente se acondiciono la muestra con tratamiento y sin tratamiento con densidades de carga de 3 y 5 kg/m², para ellos se saco la proporción de cada una de estas según el área de las placas del liofilizador, con la finalidad de emplearse menor cantidad de materia prima, menor tiempo de liofilizado y adecuarse al equipo Liofilizador, manteniéndose las densidades de carga respectivas. Se corto en rodajas la lúcuma

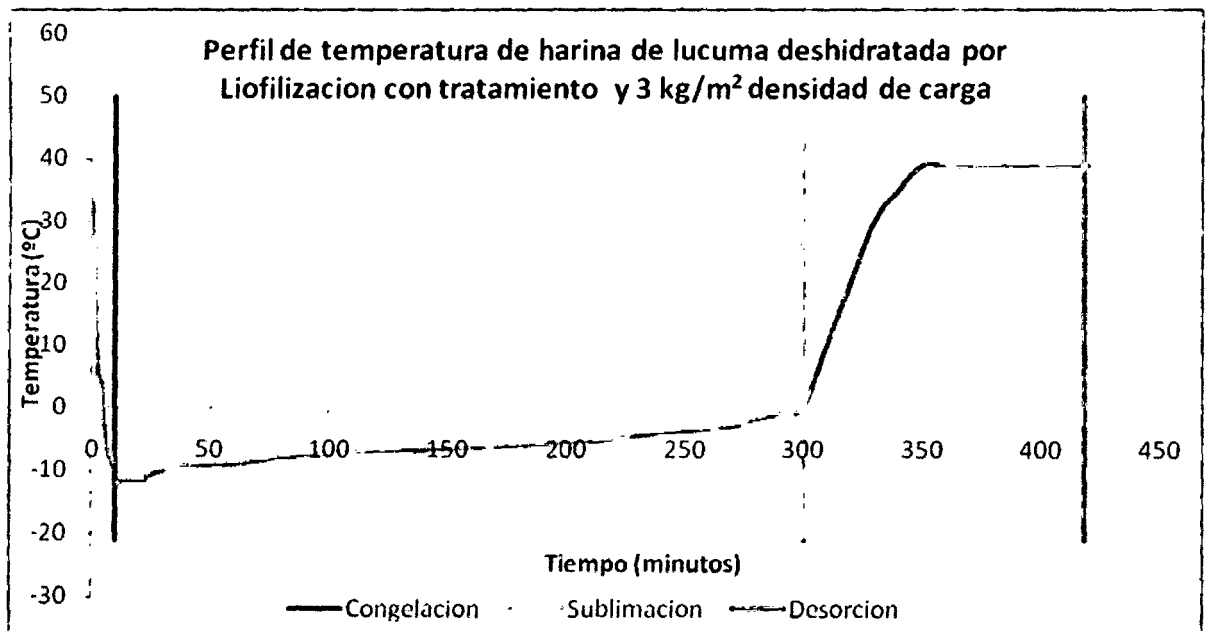
(espesor de 5 mm) con la finalidad de incrementar el área superficial de contacto mejorando la transferencia de calor y masa.

4.3.1.1. Perfiles de temperatura en el secado por Liofilizado

Según Terroni (2003), menciona que este método en el cual se obtiene una preservación óptima de las cualidades del producto original. Se basa en la sublimación del agua presente en el alimento, reduciendo al mínimo el arrastre de sustancias y el daño a la estructura del producto, los cuales se afectan en gran medida durante los procesos convencionales de secado.

Con tratamiento - Densidad de carga de 3 y 5 kg/m²

Figura 32: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización con tratamiento y 3 kg/m² densidad de carga

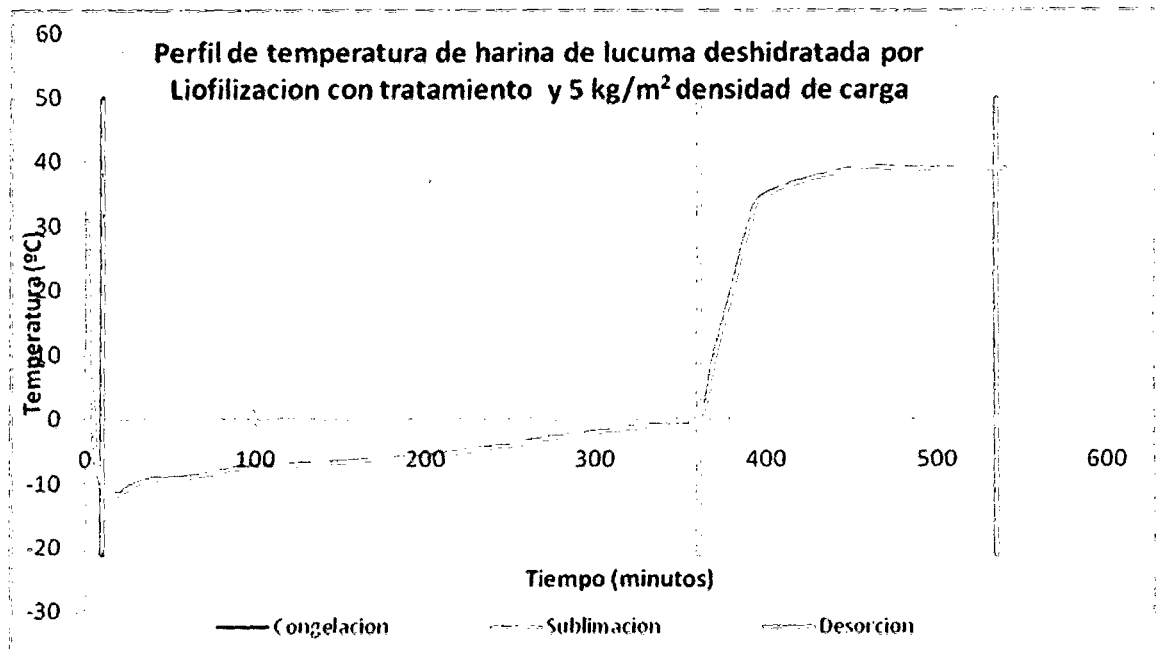


Presentó para la etapa de congelación la temperatura completa de solidificación a $-11.23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para la sublimación del agua se controló el vacío entre 1000 a 3000 μHg . La etapa de desorción o secado alcanzó la temperatura de 39.23°C . El tiempo total de secado fue de 420 minutos (Ver figura 32)

Perera (1996) presentó un perfil de temperatura para la Lúcumo liofilizada, donde la completa solidificación en la etapa de congelación se da a -12°C . En la sublimación del agua se controló el vacío entre 1000 y 3000 μHg . La etapa de desorción alcanzó una temperatura final de 39°C . El tiempo total del proceso fue casi de 12 horas

Estos parámetros son cercanos a los obtenidos en el perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización con tratamiento y 3 kg/m^2 densidad de carga, siendo mínima la diferencia entre la temperatura de solidificación (-11.23°C). El tiempo total del proceso, fue menor al que nos menciona Perera (1996), a causa de la densidad de carga usada, lo que originan una reducción importante en el tiempo de secado.

Figura 33: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización con tratamiento y 5 kg/m² densidad de carga



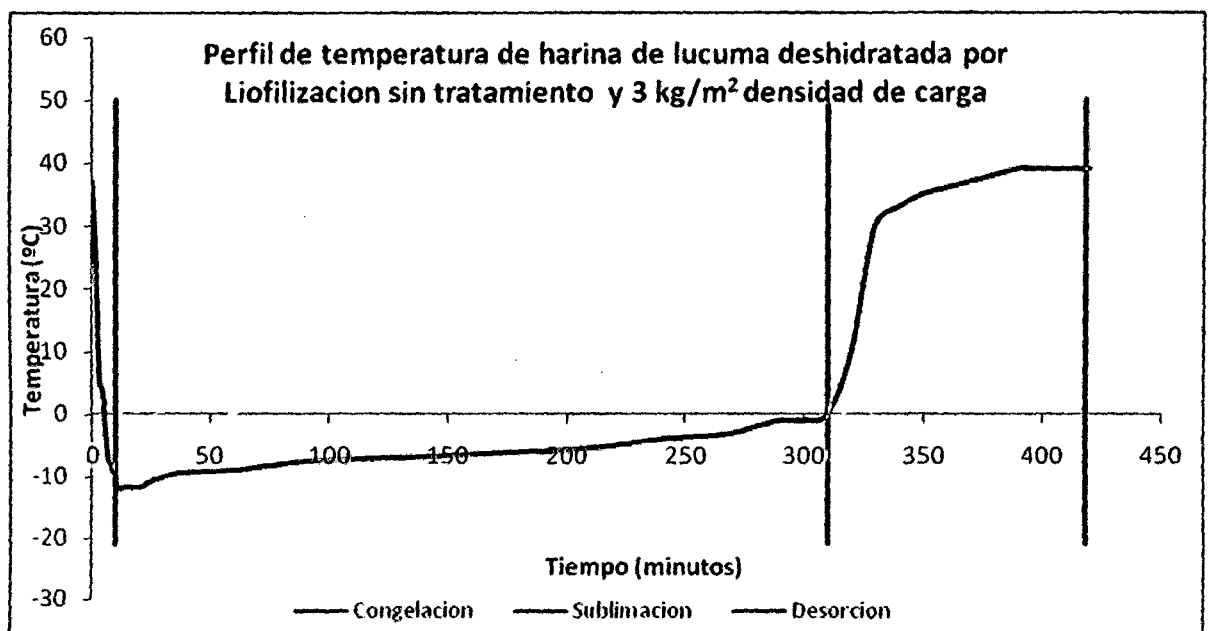
Presentó para la etapa de congelación la temperatura completa de solidificación a $-12.36\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para la sublimación del agua se controló el vacío entre 1000 a 3000 μHg . La etapa de desorción o secado alcanzó la temperatura de $39.18\text{ }^{\circ}\text{C}$. El tiempo total de secado fue de 540 minutos (Ver figura 33)

Perera (1996) presentó un perfil de temperatura para la Lúcura liofilizada, donde la completa solidificación en la etapa de congelación se da a $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la sublimación del agua se controló el vacío entre 1000 y 3000 μHg . La etapa de desorción alcanzó una temperatura final de $39\text{ }^{\circ}\text{C}$. El tiempo total del proceso fue casi de 12 horas.

Estos parámetros son cercanos a los obtenidos en el perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización con tratamiento y 5 kg/m^2 densidad de carga, siendo mínima la diferencia entre la temperatura de solidificación (-12.36°C). El tiempo total del proceso, fue menor al que nos menciona Perera (1996), a causa de la densidad de carga usada, lo que originan una reducción importante en el tiempo de secado.

Sin tratamiento - Densidad de carga de 3 y 5 kg/m^2

Figura 34: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización sin tratamiento y 3 kg/m^2 densidad de carga



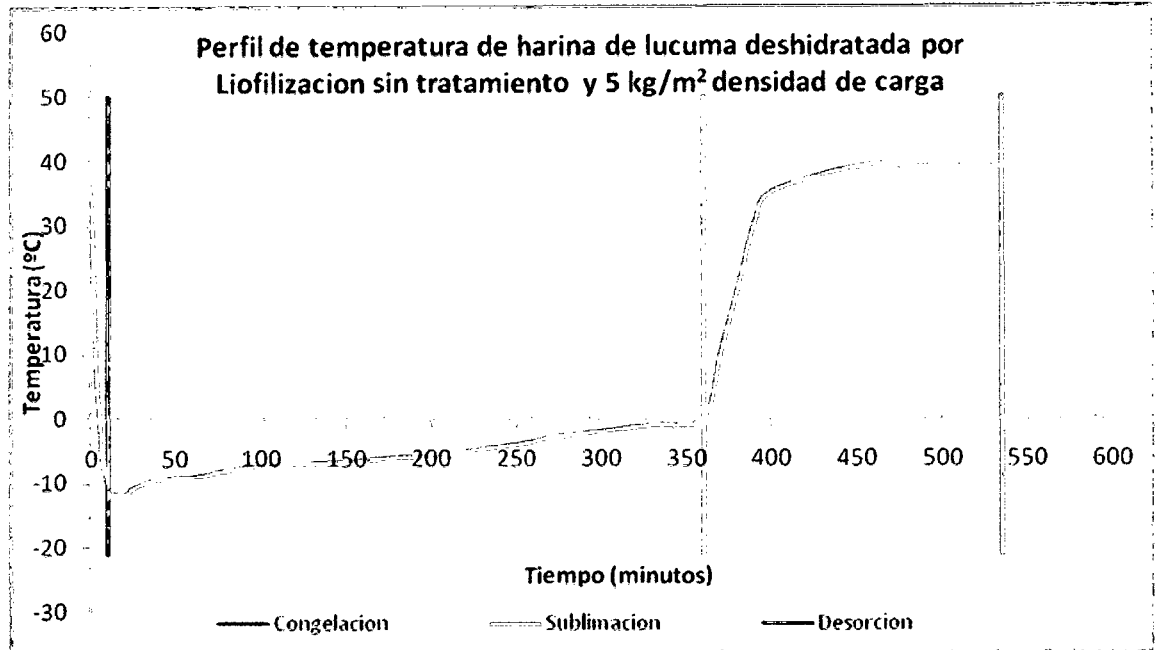
Presentó para la etapa de congelación la temperatura completa de solidificación a -12.27°C . Para la sublimación del agua se controló el vacío entre 1000 a 3000 μHg . La etapa de desorción o secado

alcanzó la temperatura de 39.18°C. El tiempo total de secado fue de 420 minutos (Ver figura 34)

Perera (1996) presentó un perfil de temperatura para la Lúcumo liofilizada, donde la completa solidificación en la etapa de congelación se da a -12°C. En la sublimación del agua se controló el vacío entre 1000 y 3000 μ Hg. La etapa de desorción alcanzó una temperatura final de 39°C. El tiempo total del proceso fue casi de 12 horas

Estos parámetros son cercanos a los obtenidos en el perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización sin tratamiento y 3 kg/m² densidad de carga, siendo mínima la diferencia entre la temperatura de solidificación (-12.27°C). El tiempo total del proceso, fue menor al que nos menciona Perera (1996), a causa de la densidad de carga usada, lo que originan una reducción importante en el tiempo de secado.

Figura 35: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización sin tratamiento y 5 kg/m² densidad de carga



Presentó para la etapa de congelación la temperatura completa de solidificación a $-12.65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para la sublimación del agua se controló el vacío entre 1000 a 3000 μHg . La etapa de desorción o secado alcanzó la temperatura de $39\text{ }^{\circ}\text{C}$. El tiempo total de secado fue de 540 minutos (ver Figura 35)

Perera (1996) *presentó un perfil de temperatura para la Lúcumá liofilizada, donde la completa solidificación en la etapa de congelación se da a -12°C . En la sublimación del agua se controló el vacío entre 1000 y 3000 μHg . La etapa de desorción alcanzó una*

temperatura final de 39°C. El tiempo total del proceso fue casi de 12 horas

Estos parámetros son cercanos a los obtenidos en el perfil de temperatura de la harina deshidratada por Liofilización sin tratamiento y 3 kg/m² densidad de carga, siendo mínima la diferencia entre la temperatura de solidificación (-12.65°C). El tiempo total del proceso, fue menor al que nos menciona Perera (1996), a causa de la densidad de carga usada, lo que originan una reducción importante en el tiempo de secado.

4.3.2. En el Secado por Aire Caliente

Ocampo (2006) menciona que en el caso de utilizar sólo aire caliente, es un método muy intenso, que provoca pérdidas de calidad en los productos en aspectos como el color, sabor y textura. Otros problemas comunes que influyen en la calidad del producto son el encostramiento y encogimiento durante el proceso.

Perry y Chilton, (1982), menciona que en el secado por aire caliente, la transmisión de calor es directa del aire a los sólidos, utilizando la circulación de grandes volúmenes de aire caliente, y para que su funcionamiento sea satisfactorio va a depender que mantenga una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme y paralela sobre todo el material que se esté secando.

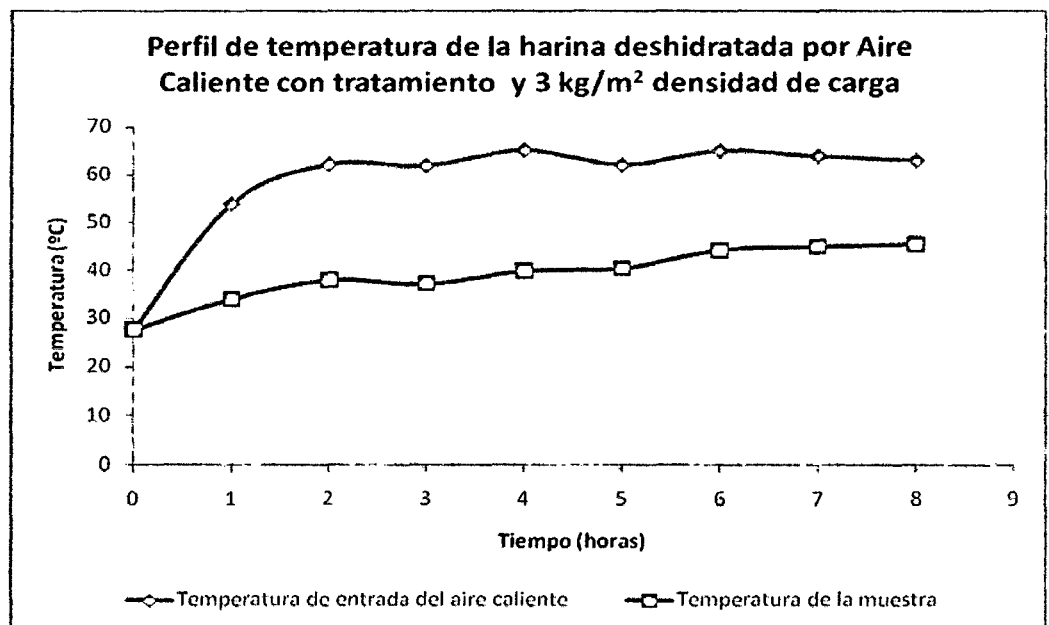
4.3.2.1. Perfiles de temperatura en el método de secado por Aire Caliente

El secado por Aire Caliente para la obtención de la harina de lúcuma, se llevo a cabo en el Secador solar con adecuación, con resistencias eléctricas y ventilador. Las experiencias de secado se realizaron con una temperatura de entrada del aire caliente que llevo aproximadamente hasta 65°C y la temperatura interna en la cámara del secador llevo hasta 45°C.

Se acondicionó las rodajas de lúcuma en la bandejas del secador de acuerdo a sus respectivas densidades de 3 y 5 kg/m²

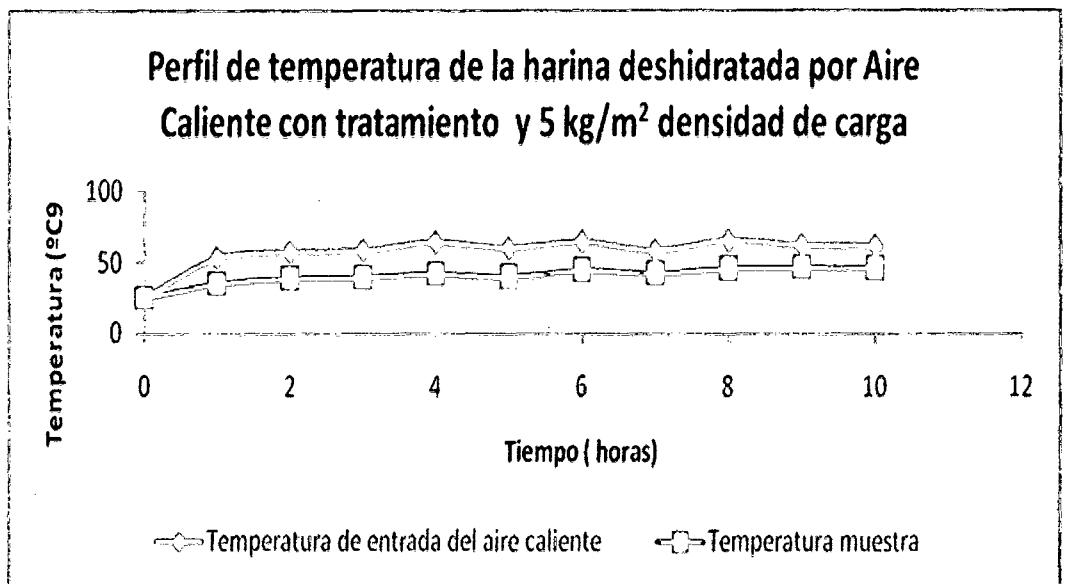
Con tratamiento - Densidad de carga de 3 y 5 kg/m²

Figura 36: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Aire Caliente con tratamiento y 3 kg/m² densidad de carga



Para el secado por Aire Caliente con tratamiento (con escaldado), para una densidad de carga de 3 kg/m^2 , según la figura 36, presentó una temperatura de entrada del aire caliente que oscilo entre 62.12°C a 65.81°C con una temperatura de la muestra que oscila 40.17°C a 45.42°C . El tiempo empleado para el secado fue de 8 horas.

Figura 37: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Aire Caliente con tratamiento y 5 kg/m^2 densidad de carga

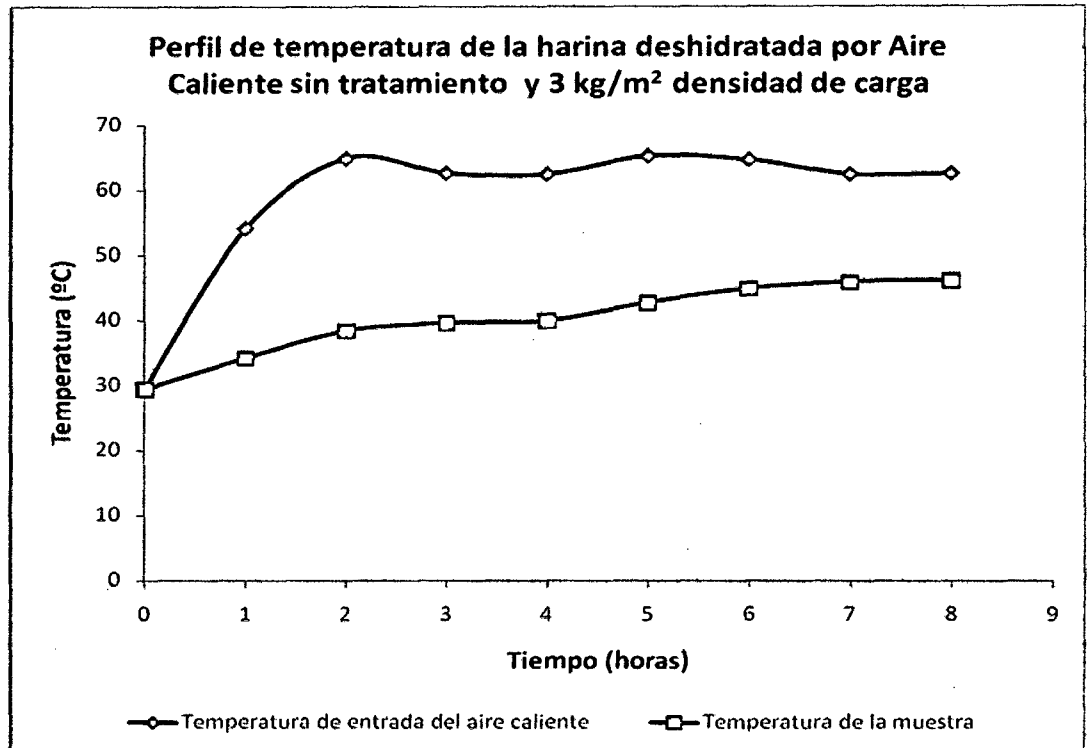


Los parámetros de temperatura para la muestra con tratamiento (con escaldado) con una densidad de carga de 5 kg/m^2 . Presentaron según la grafica 37, una temperatura de entrada del aire caliente que oscilo entre 60.25°C a 65.72°C con una temperatura de la muestra que oscila

40.09 °C a 46.02 °C. El tiempo empleado para el secado fue de 10 horas.

Sin tratamiento - Densidad de carga de 3 y 5 kg/m²

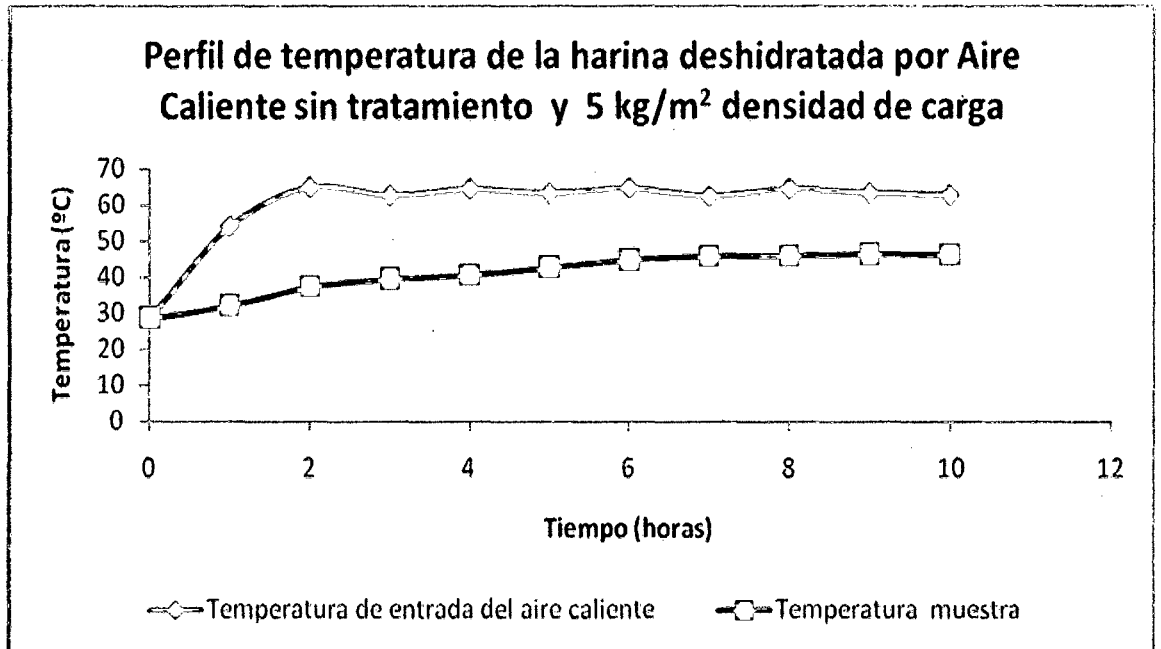
Figura 38: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Aire Caliente sin tratamiento y 3 kg/m² densidad de carga



Para el secado por aire caliente se acondiciono las rodajas de lúcuma con un espesor de 5 mm. A las cuales no se realizo previo tratamiento (sin escaldado). Se coloco las muestras en las bandejas del secador en los dos primeros niveles con una densidad de carga 3 kg/m². Según la grafica 38 presento una temperatura de entrada del aire caliente que oscilo entre 61.59 a 65.52 °C con una

temperatura de la muestra que oscila 41.76 a 46.44 °C. El tiempo empleado para el secado fue de 8 horas.

Figura 39: Perfil de temperatura de la harina deshidratada por Aire Caliente sin tratamiento y 5 kg/m² densidad de carga



Para una densidad de carga de 5 kg/m² se empleó hasta un tercer nivel en el secador. Según la gráfica 39, presento una temperatura de entrada del aire caliente que osciló entre 60.26 °C a 65.47 °C con una temperatura de la muestra que oscila 40.65 °C a 46.5 °C. El tiempo empleado para el secado fue de 10 horas.

4.4. Análisis Sensorial

Se realizó empleando panelistas semientrenados, los cuales analizaron las muestras y calificaron de acuerdo a la escala hedónica mostrada en el cuadro 14.

Cuadro 14: Escala hedónica

ESCALA	COLOR	OLOR	TEXTURA	SABOR
Excelente	5	5	5	5
Bueno	4	4	4	4
Regular	3	3	3	3
Malo	2	2	2	2
Muy malo	1	1	1	1

Fuente: Aldazua, 1994

4.4.1. Análisis sensorial de la harina de Lúcumá

4.4.1.1. Evaluación del color

Sobre la base del anexo 03 (Cuadro 28), se realizó el análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el color de la harina.

**Cuadro 15: Análisis de varianza para evaluar el color en la
harina de Lúcumá.**

F.V	GL	SC	CM	FC	F _{TAB}
Efecto de los panelistas	23	14.6197917	0.63564312	1.49025408	1.60445
Efecto de tratamiento	7	33.703125	4.81473214	11.2880546	2.07433
Efecto del error	161	68.671875	0.42653339		
Efecto total	191	116.994792			

Prueba de Duncan (T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇, T₈)

Tratamiento	X
T ₄	3.83333333
T ₃	3.83333333
T ₂	3.83333333
T ₁	3.33333333
T ₇	3.16666667
T ₈	3.08333333
T ₅	2.91666667
T ₆	2.70833333

El análisis de la comparación de medias demuestra que los tratamientos: T₂, T₃ y T₄ estadísticamente son iguales. Se observa que el tratamiento T₂ (lío­filizado, sin esca­ldado, ρ = 5kg/m²), T₃ (lío­filizado, con esca­ldado, ρ = 3kg/m²) y T₄ (lío­filizado, con esca­ldado, ρ = 5kg/m²), obtuvieron el puntaje de 3.8 en promedio calificativo de bueno

4.4.1.2. Evaluación del olor

Según el anexo 03 (cuadro 29), se realizó el análisis de varian­za. Dichos resultados se muestran en el cuadro 16.

Cuadro 16: Análisis de varian­za para evaluar el olor en la harina de Lú­cuma.

F.V	GL	SC	GM	FC	FTAB
Efecto de los panelistas	23	8.328125	0.36209239	0.88601282	1.60445
Efecto de tratamiento	7	4.078125	0.58258929	1.42555213	2.07433
Efecto del error	161	65.796875	0.40867624		
Efecto total	191	78.203125			

Prueba de Duncan (T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇, T₈)

Tratamiento	X
T ₁	3.91666667
T ₅	3.79166667
T ₄	3.70833333
T ₇	3.625
T ₆	3.58333333
T ₈	3.54166667
T ₂	3.5
T ₃	3.45833333

Mediante la prueba de Duncan los tratamientos T₁, T₅, T₈, T₇, T₄, T₃ y T₂ son estadísticamente iguales.

De acuerdo a la escala hedónica las harina presenta un calificativo regular a bueno, siendo el mejor olor correspondiente al tratamiento T₁ (lío-filizado, sin escaldado, $\rho = 3\text{kg/m}^2$) con 3.9 puntos; la prueba permitió diferenciar y definir que T₁, fue el mejor, presenta un mejor olor comparado con el resto de los tratamientos.

4.4.1.3. Evaluación de la textura

Mediante un análisis sensorial, se evaluó la textura de la harina de lúcuma que fue sometida a diferentes tratamientos en el cual mediante el anexo 03 (cuadro 30), se realizó el análisis de varianza. Dicho análisis es mostrado en el cuadro 17.

Cuadro 17: Análisis de varianza para evaluar la textura en la harina de Lúcuma.

F.V	GL	SC	CM	FC	F _{TAB}
Efecto de los panelistas	23	20.7291667	0.90126812	2.00778322	1.60445
Efecto de tratamiento	7	24.4791667	3.49702381	7.79042952	2.07433
Efecto del error	161	72.2708333	0.44888716		
Efecto total	191	117.479167			

Prueba de Duncan (T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇, T₈)

Tratamiento	X
T ₁	4.25
T ₂	3.95833333
T ₃	3.58333333
T ₄	3.54166667
T ₅	3.45833333
T ₆	3.25
T ₇	3.20833333
T ₈	3.16666667

Mediante la prueba de Duncan se determino que los tratamientos T_1 y T_2 son estadísticamente iguales, al igual que los tratamientos T_2 , T_3 y T_4 , los tratamientos T_3 , T_4 , T_5 , T_6 y T_7 estadísticamente son iguales.

De acuerdo a la escala hedónica presenta un calificativo de regular a bueno, siendo el T_1 (líoofilizado, sin escaldado, $\rho = 3\text{kg/m}^2$) y T_2 (líoofilizado, sin escaldado, $\rho = 5\text{kg/m}^2$) la que proporciona mejor textura con un puntaje de 4.25 y 3,95 respectivamente, considerado como bueno.

4.4.1.4. Evaluación del sabor

En cuanto al sabor los resultados de este análisis sensorial se muestran en el anexo 03 (cuadro 31), permitió realizar su análisis de varianza que se presenta en el cuadro 18.

Cuadro 18: Análisis de varianza para evaluar el sabor en la harina de Lúlcuma.

F.V	GL	SC	CM	FC	F _{TAB}
Efecto de los panelistas	23	3.72916667	0.16213768	0.45447951	1.60445
Efecto de tratamiento	7	3.8125	0.54464286	1.52665941	2.07433
Efecto del error	161	57.4375	0.35675466		
Efecto total	191	64.9791667			

Prueba de Duncan ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8$)

Tratamiento	X
T_1	3.75
T_2	3.54166667
T_8	3.41666667
T_7	3.375
T_3	3.375
T_5	3.33333333
T_4	3.33333333
T_6	3.29166667

V. CONCLUSIONES:

1. El efecto del escaldado en la calidad fisicoquímica de la harina de lúcuma deshidratada presento una mayor variación total del color en el T₆ ($\Delta E = 30.72$) y una menor variación total del color en el T₃ ($\Delta E = 12.93$), teniendo el T₃ una mayor aceptación sensorial con un puntaje de 3.83, con un calificativo de bueno.
2. La densidad de carga influyo directamente en el tiempo de secado del producto, siendo para el Liofilizado: con $\rho=3\text{kg/m}^2$ - 7 horas y $\rho=5\text{kg/m}^2$ - 9 horas, mientras que para el método de secado por Aire Caliente con $\rho=3\text{kg/m}^2$ - 8 horas y $\rho=5\text{kg/m}^2$ - 10 horas.
3. El método de liofilización presentó mejores características fisicoquímicas por tener menor cantidad de humedad (8.82%), en comparación al método por Aire caliente (9.29% humedad).
4. Se evaluó las características fisicoquímicas y sensoriales de la harina deshidratada de lúcuma, con la finalidad de evaluar su variación con respecto a la materia prima. Para el Liofilizado: cenizas=2.17%, pH=5.59, contenido de grasa= 2.16%; para Aire Caliente: cenizas=2.04%, pH=6.23, contenido de grasa= 2.18%; siendo los valores esperados, en cuanto al análisis sensorial se obtuvo una mejor harina deshidratada de Lúcuma con el método de secado por Liofilización, con escaldado y $\rho=3\text{kg/m}^2$ (T₃).

VI. RECOMENDACIONES:

- Realizar el proceso de secado de la materia prima empleando otros tipos y equipos de secado.
- Realizar una investigación en el enriquecimiento de la harina de lúcumo mediante la adición de vitaminas o de otros nutrientes, así como también un estudio sobre la utilización de esta harina como insumo en la elaboración de un producto.
- El manejo de las muestras debe realizarse con mucho cuidado, ya que cuando no están deshidratadas completamente, tienden a pegarse a las bandejas, entonces se parten y pueden perderse porcentajes de masa que podrían marcar diferencia a la hora de la evaluación final.

VII. BIBLIOGRAFIA:

- Aldazua, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Editorial Acribia S. A. Zaragoza-España.
- AOAC. (1990). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (15th ed.). In K. Helrich (ed). Washington, DC, USA: AOAC.
- Badui, D.S (1984). Química de los alimentos. Editorial Alhambra. México.
- Barrena G. Miguel Ángel y otros (2009). Cinética de Secado de Lúcumá (Pouteria lúcumá L.). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas – Amazonas – Perú.
- Belitz, H.D; Grosh, W. (1988). Química de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza-España.
- Berset, C & Caniaux, P. (1983). Relationship between color evaluation and chlorophyllian pigment content in dried parsley leaves journal of Food Science.
- Bravermann, J. B. S (1980). Introducción a la bioquímica de los alimentos. Editorial Omega. Barcelona-España.

- Brennan, J.G., Butters, J.R. (1980). "Las operaciones de la ingeniería de los alimentos". Editorial Acribia. España.
- Ceballos, A. (2008). Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta. Tesis de grado para optar el grado de Magister en Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Manizales-Colombia.
- Francis, F. J, 1995. Quality as influenced by color. Food Quality and preference. V.6.
- Gregory, J. (1996) Vitamins. In: Fennema, O.R. Food Chemistry. 3ed. 1996.
- Hunterlab, 1996. The basics of color perception and measurement. Version 1.4. Disponible em: <<http://www.hunterlab.com>>
- Lawless H.T & Heymann, H. 1999. Sensory evaluation of food Maryland: Aspen Publishers.
- Manual básico de Liofilización. (2005)
- McCabe, W.L., Smith, J.C. (1975) "Operaciones básicas de ingeniería química". Volumen II. Editorial Reverté. Buenos Aires.
- Marcelo Gutierrez. (2004). Programa Chalaco. "Producción de harina de lúcuma". Piura.

- Minolta,1991. Chroma meter CR-300/ CR-310/ CR-321/ CR-331. Instruction manual. Osaka-Japón.
- Ocampo, A. 2006. Modelo cinético del secado de pulpa de mango. Revista EIA. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Perera Horacio, Yanovsky J. 1996. Proyecto LIAL – Liofilización Alimentaria. Buenos Aires.
- Perry, J. y C. Chilton. (1982). Manual del Ingeniero Químico. Editorial McGraw-Hill. 2da. Edición. Bogotá.
- PROINVERSION. (2000) “Resumen ejecutivo de producción de harina de lúcuma”. Lima.
- PROLÚCUMA. (2001) “Proyecto de inversión de una planta de harina de lúcuma”. Lima.
- Rojas, T. (1996). Influencia del Método de Secado en la Calidad de la Fresa (*Fragaria vesca*) deshidratada. Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima–Perú.
- Terroni (2003). Manual Básico de Liofilización. Sao Paulo-Brasil.
- Vega, A.A. y R.A. Lemus. (2006). Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (*Vasconcellea pubescens*). Inf. tecnol. Vol.17 (3): 23-31.

- Vidal-Brotóns, D (2004). Estabilidad de Pigmentos en Frutas Sometidas a Tratamiento, disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v15n1/v15n1a02.pdf>
- Villanueva Mendoza, Carlos Manuel. (2002). "Cultivo comercial de la lúcuma en Perú y el mercado internacional". Lima.
- Zamora Montero, Fernando. "Estudio de factibilidad para la implementación de una empresa productora y exportadora de harina de lúcuma a los países de Estados Unidos y Chile". Tesis. Universidad Nacional de Ingeniería. 1999.
- <http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BVirUDEP/bfrmrecurso.asp?numlD=&exten=&CodMill=b10647740&TipRec=2>

ANEXOS

ANEXO 01: Análisis granulométrico de Harina de Lúcumá

Cuadro 19: Análisis granulométrico: modulo de finura.

Muestra 100 gr de Harina obtenida por Liofilización sin
tratamiento con $\rho=3\text{kg/m}^2$

TAMIZ	ABERTURA DE MALLA (μ)	PESO RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA
8	2360	0.000	0.000	0.000	100
16	1180	5.180	5.180	5.180	94.82
30	600	13.650	13.650	18.830	81.17
50	300	25.585	25.585	44.415	55.585
100	150	45.585	45.585	90.00	10.000
200	75	9.640	9.640	100	0

Modulo de finura: $138.425/100 = 1.38425$

Cuadro 20: Análisis granulométrico: modulo de finura.

**Muestra 100 gr de Harina obtenida por Liofilización sin
tratamiento con $\rho=5\text{kg/m}^2$**

TAMIZ	ABERTURA DE MALLA (μ)	PESO RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA
8	2360	0.000	0.000	0.000	100
16	1180	5.470	5.470	5.470	94.530
30	600	12.430	12.430	17.90	82.100
50	300	26.790	26.790	45.850	54.150
100	150	40.570	40.570	91.50	8.5
200	75	8.450	8.450	100	0

Modulo de finura: $146.99/100 = 1.4699$

Cuadro 21: Análisis granulométrico: modulo de finura.

**Muestra 100 gr de Harina obtenida por Liofilización con
tratamiento con $\rho=3\text{kg/m}^2$**

TAMIZ	ABERTURA DE MALLA (μ)	PESO RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA
8	2360	0.000	0.000	0.000	100
16	1180	7.360	7.360	7.360	92.640
30	600	15.750	15.750	23.110	76.890
50	300	21.500	21.500	44.610	55.390
100	150	43.290	43.290	89.90	10.100
200	75	8.410	8.410	100	0

Modulo de finura: $146.98/100 = 1.4698$

Cuadro 22: Análisis granulométrico: modulo de finura.

**Muestra 100 gr de Harina obtenida por Liofilización con
tratamiento con $\rho=5\text{kg/m}^2$**

TAMIZ	ABERTURA DE MALLA (μ)	PESO RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA
8	2360	0.000	0.000	0.000	100
16	1180	7.350	7.350	7.350	92.650
30	600	24.580	24.580	31.930	68.070
50	300	35.850	35.850	67.780	32.220
100	150	23.765	23.765	91.545	8.455
200	75	8.450	8.450	100	0

Modulo de finura: $148.605/100 = 1.48605$

Cuadro 23: Análisis granulométrico: modulo de finura.

**Muestra 100 gr de Harina obtenida por Aire Caliente sin
tratamiento con $\rho=3\text{kg/m}^2$**

TAMIZ	ABERTURA DE MALLA (μ)	PESO RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA
8	2360	0.000	0.000	0.000	100
16	1180	6.650	6.650	6.650	
30	600	12.180	12.180	18.830	
50	300	24.590	24.590	33.420	
100	150	46.580	46.580	92.00	
200	75	8.650	8.650	100	0

Modulo de finura: $148.900/100 = 1.489$

Cuadro 24: Análisis granulométrico: modulo de finura.

**Muestra 100 gr de Harina obtenida por Aire Caliente sin
tratamiento con $\rho=5\text{kg/m}^2$**

TAMIZ	ABERTURA DE MALLA (μ)	PESO RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA
8	2360	0.000	0.000	0.000	100
16	1180	7.460	7.460	7.460	92.540
30	600	22.370	22.370	29.830	70.170
50	300	34.585	34.585	64.415	35.585
100	150	23.125	23.125	90.360	9.640
200	75	9.640	9.640	100	0

Modulo de finura: $151.065/100 = 1.51065$

Cuadro 25: Análisis granulométrico: modulo de finura.

**Muestra 100 gr de Harina obtenida por Aire Caliente con
tratamiento con $\rho=3\text{kg/m}^2$**

TAMIZ	ABERTURA DE MALLA (μ)	PESO RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA
8	2360	0.000	0.000	0.000	100
16	1180	10.250	10.250	10.250	89.750
30	600	25.480	25.480	35.730	64.270
50	300	33.350	33.350	69.080	30.920
100	150	19.450	19.450	88.530	11.470
200	75	11.500	11.500	100	0

Modulo de finura: $137.59/100 = 1.3759$

Cuadro 26: Análisis granulométrico: modulo de finura.

**Muestra 100 gr de Harina obtenida por Aire Caliente con
tratamiento con $\rho=5\text{kg/m}^2$**

TAMIZ	ABERTURA DE MALLA (μ)	PESO RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA
8	2360	0.000	0.000	0.000	100
16	1180	12.115	12.115	12.115	87.885
30	600	22.310	22.310	34.425	65.575
50	300	30.320	30.320	64.745	35.255
100	150	22.750	22.750	87.495	12.505
200	75	10.500	10.500	100	0

Modulo de finura: $136.78/100 = 1.3678$

ANEXO 02: Evaluación de los efectos de los parámetros en el Índice de color del producto final

Cuadro 27: Datos experimentales de la comparación de la variación de color entre los métodos de secado de aire caliente y liofilizado.

F.V	GL	SC	GM	FC	F _{tab}
Efecto de A (Secado)	2	1.33801922	0.66900961	1.03748884	3.68
Efecto de B (densidad de carga)	1	264.351154	264.351154	409.951321	4.54
Efecto de C (Escaldado)	1	270.306946	270.306946	419.187463	4.54
Efecto de AB	1	4.56023869	4.56023869	7.07194141	4.54
Efecto de BC	1	8.0465169	8.0465169	12.478403	4.54
Efecto de AC	1	8.75782293	8.75782293	13.5814844	4.54
Efecto de ABC	1	38.5987047	38.5987047	59.8582217	4.54
Efecto del error	1	100.332562	100.332562	155.594049	4.54
Total	14	9.02769663	0.64483547		

CV = 3.757367 < 25

PRUEBA DE INTERVALOS MULTIPLES DE DUNCAN

S = 0.49174516

(Ti;GL error)	(r*)	(R*)
2,14	3.033	1.49146307
3,14	3.178	1.56276612
4,14	3.268	1.60702318
5,14	3.329	1.63701964
6,14	3.372	1.65816468
7,14	3.403	1.67340878
8,14	3.426	1.68471892

Tratamiento Promedio	
T1	21.0191081
T2	20.4920576
T3	30.4420833
T4	26.8092197
T5	18.4206124
T6	12.1313394
T7	17.3489508
T8	24.3109274



De menor a mayor Tratamiento Promedio	
T6	12.1313394
T7	17.3489508
T5	18.4206124
T2	20.4920576
T1	21.0191081
T8	24.3109274
T4	26.8092197
T3	30.4420833

T3-T6	18.3107438	>	2.23922057
T3-T7	13.0931325	>	2.22418786
T3-T5	12.0214709	>	2.20392638
T3-T1	9.9500257	>	2.17582174
T3-T2	9.42297523	>	2.13595238
T3-T8	6.13115591	>	2.07712872
T3-T4	3.63286362	>	1.98235727
T4-T6	14.6778802	>	2.22418786
T4-T7	9.46026889	>	2.20392638
T4-T5	8.3886073	>	2.17582174
T4-T1	6.31716208	>	2.13595238
T4-T2	5.79011161	>	2.07712872
T4-T8	2.49829228	>	1.98235727
T8-T6	12.1795879	>	2.20392638
T8-T7	6.9619766	>	2.17582174
T8-T5	5.89031501	>	2.13595238

T8-T1	3.8188698	>	2.07712872
T8-T2	3.29181933	>	1.98235727
T2-T6	8.88776861	>	2.17582174
T2-T7	3.67015728	>	2.13595238
T2-T5	2.59849569	>	2.07712872
T2-T1	0.52705047	<	1.98235727
T1-T6	8.36071814	>	2.13595238
T1-T7	3.1431068	>	2.07712872
T1-T5	2.07144522	>	1.98235727
T5-T6	6.28927293	>	2.07712872
T5-T7	3.1431068	>	1.98235727
T7-T6	5.21761134	>	1.49146307

DETERMINACION INSTRUMENTAL DE COLOR

El análisis realizado para la lúcumá fue por el método analítico

Los parámetros de color L^* , a^* , b^* fueron obtenidos de un colorímetro Konica Minolta, operando en sistema CIELAB, en que L^* corresponde a la luminosidad, a^* y b^* son las coordenadas de cromaticidad ($-a$ =verde y $+a$ =rojo; $-b$ = azul y $+b$ = amarillo). El colorímetro fue calibrado con una placa blanca patrón, conforme instrucciones del fabricante. Las lecturas fueron realizadas por triplicado, bajo iluminante D65 y ángulo 10° varias funciones de color fueron de terminadas para cada muestra:

Angulo de matiz (H°):

$$h^\circ = 180 \div \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

Croma o índice de saturación (C^*):

$$c^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

Diferencia total del color (ΔE^*):

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

Anexo 03: Resultado del análisis sensorial de la harina de lúcumá obtenida por diferentes tratamientos.

Cuadro 28: Resultados de la evaluación del color de la harina obtenida por diferentes tratamientos.

Panel	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Σ
1	3	4	3	4	2	3	4	3	26
2	3	4	4	4	3	3	3	3	27
3	4	3	4	3	1	3	4	3	25
4	3	4	5	4	3	2	3	4	28
5	3	3	4	3	3	2	2	3	23
6	3	4	4	4	4	3	3	4	29
7	4	5	4	5	4	2	3	2	29
8	3	4	3	4	3	3	2	3	25
9	3	3	4	3	3	3	4	3	26
10	4	4	4	4	3	3	4	3	29
11	3	5	4	5	4	2	3	2	28
12	3	3	3	3	2	2	3	4	23
13	3	4	4	4	4	4	3	4	30
14	4	5	4	5	4	2	3	2	29
15	3	4	3	4	3	3	2	3	25
16	3	3	4	3	3	3	4	3	26
17	4	4	4	4	3	4	4	3	30
18	3	5	4	5	4	2	3	2	28
19	3	3	3	3	2	3	3	4	24
20	3	4	3	4	2	3	4	3	26
21	4	4	4	4	3	3	3	3	28
22	4	3	4	3	1	3	4	3	25
23	4	4	5	4	3	2	3	4	29
24	3	3	4	3	3	2	2	3	23
Σ	80	92	92	92	70	65	76	74	641

Donde:

T1: Liofilizado, sin escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T2: Liofilizado, sin escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

T3: Liofilizado, con escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T4: Liofilizado, con escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

T5: Aire caliente, sin escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T6: Aire caliente, sin escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

T7: Aire caliente, con escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T8: Aire caliente, con escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

Prueba de Duncan: (T1,T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8)

$$Cv = 19.562291 < 25\%$$

PRUEBA DE INTERVALOS MULTIPLES DE DUNCAN

$$S = 0.13331251$$

(Ti;GL error)	(r*)	(R*)
2;161	2.7932	0.37236849
3;161	2.9422	0.39223206
4;161	3.0402	0.40529668
5;161	3.1116	0.4148152
6;161	3.1676	0.4222807
7;161	4.1467	0.55280697
8;161	4.1904	0.55863273

Tratamiento Promedio	
T1	3.33333333
T2	3.83333333
T3	3.83333333
T4	3.83333333
T5	2.91666667
T6	2.70833333
T7	3.16666667
T8	3.08333333



De menor a mayor Tratamiento Promedio	
T6	2.70833333
T5	2.91666667
T8	3.08333333
T7	3.16666667
T1	3.33333333
T2	3.83333333
T3	3.83333333
T4	3.83333333

T4-T6	1.125	>	0.60074858
T4-T5	0.91666667	>	0.59448361
T4-T8	0.75	>	0.45411684
T4-T7	0.66666667	>	0.4460885
T4-T1	0.5	>	0.43585238
T4-T2	0	>	0.4218028
T4-T3	0	<	0.4004417
T3-T6	1.125	>	0.59448361
T3-T5	0.91666667	>	0.45411684
T3-T8	0.75	>	0.4460885
T3-T7	0.66666667	>	0.43585238
T3-T1	0.5	>	0.4218028
T3-T2	0	<	0.4004417
T2-T6	1.125	>	0.45411684
T2-T5	0.91666667	>	0.4460885
T2-T8	0.75	>	0.43585238
T2-T7	0.66666667	>	0.4218028

T2-T1	0.5	>	0.4004417
T1-T6	0.625	>	0.4460885
T1-T5	0.41666667	<	0.43585238
T1-T8	0.25	<	0.4218028
T1-T7	0.16666667	<	0.4004417
T7-T6	0.45833333	>	0.43585238
T7-T5	0.25	<	0.4218028
T7-T8	0.08333333	<	0.4004417
T8-T6	0.375	<	0.4218028
T8-T5	0.16666667	<	0.4004417
T5-T6	0.20833333	<	0.4004417

Cuadro 29: Resultados de la evaluación del olor de la harina obtenida por diferentes tratamientos.

Panel	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Σ
1	3	4	3	3	4	4	5	3	29
2	4	3	4	4	5	5	4	4	33
3	5	3	3	3	4	4	4	3	29
4	3	4	3	3	4	3	4	4	28
5	4	3	4	3	3	4	4	3	28
6	3	3	3	3	4	4	3	5	28
7	4	3	3	4	4	3	3	3	27
8	3	4	4	4	4	4	3	3	29
9	4	3	4	3	3	3	3	5	28
10	3	3	3	3	4	5	3	3	27
11	4	4	3	5	5	4	4	4	33
12	3	3	4	4	3	3	4	3	27
13	4	4	3	4	4	3	3	4	29
14	4	4	3	4	3	4	3	4	29
15	5	4	3	3	4	3	4	4	30
16	4	3	4	4	4	3	3	3	28
17	4	4	4	4	3	4	4	3	30
18	5	4	4	4	3	3	3	3	29
19	3	3	3	4	4	3	4	4	28
20	4	4	4	4	3	3	5	3	30
21	5	4	3	5	5	3	4	3	32
22	4	3	4	3	3	4	3	4	28
23	5	4	3	5	4	3	3	4	31
24	4	3	4	3	4	4	4	3	29
Σ	94	84	83	89	91	86	87	85	699

Donde:

T1: Liofilizado, sin escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T2: Liofilizado, sin escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

T3: Liofilizado, con escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

Cuadro 30: Resultados de la evaluación de textura de la harina obtenida por diferentes tratamientos.

Panel	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Σ
1	4	4	3	4	4	3	3	3	28
2	5	4	3	3	3	3	2	2	25
3	4	3	4	2	3	4	4	3	27
4	3	4	4	3	4	4	3	3	28
5	4	4	3	3	4	5	4	4	31
6	4	4	3	4	5	3	3	3	29
7	4	5	2	4	3	2	4	4	28
8	5	3	4	4	4	4	4	3	31
9	4	4	4	3	2	2	3	3	25
10	4	3	3	3	3	3	2	2	23
11	4	5	5	5	4	3	4	4	34
12	5	4	3	4	4	5	4	3	32
13	5	4	4	3	2	3	4	3	28
14	5	4	4	3	4	4	4	3	31
15	4	4	3	4	3	4	3	4	29
16	4	3	4	4	3	3	2	3	26
17	4	4	4	3	3	2	2	4	26
18	5	3	4	3	4	2	3	3	27
19	4	4	5	4	3	4	4	4	32
20	5	4	4	4	4	3	4	4	32
21	4	4	3	4	3	4	3	3	28
22	4	5	3	4	3	3	3	3	28
23	5	5	3	4	4	3	2	2	28
24	3	4	4	3	4	2	3	3	26
Σ	102	95	86	85	83	78	77	76	682

Donde:

T1: Liofilizado, sin escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T2: Liofilizado, sin escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

T3: Liofilizado, con escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T4: Liofilizado, con escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

T5: Aire caliente, sin escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T6: Aire caliente, sin escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

T7: Aire caliente, con escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T8: Aire caliente, con escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

Prueba de Duncan: (T1,T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8)

$$Cv = 18.8619004 < 25\%$$

PRUEBA DE INTERVALOS MULTIPLES DE DUNCAN

$$S = 0.13676122$$

(Ti;GL error)	(r*)	(R*)
2;161	2.7932	0.38200145
3;161	2.9422	0.40237887
4;161	3.0402	0.41578147
5;161	3.1116	0.42554622
6;161	3.1676	0.43320485
7;161	4.1467	0.56710776
8;161	4.1904	0.57308422

Tratamiento Promedio	
T1	4.25
T2	3.95833333
T3	3.58333333
T4	3.54166667
T5	3.45833333
T6	3.25
T7	3.20833333
T8	3.16666667



De menor a mayor Tratamiento Promedio	
T8	3.16666667
T7	3.20833333
T6	3.25
T5	3.45833333
T4	3.54166667
T3	3.58333333
T2	3.95833333
T1	4.25

T1-T2	0.29166667	<	0.57308422
T1-T3	0.66666667	>	0.56710776
T1-T4	0.70833333	>	0.43320485
T1-T5	0.79166667	>	0.42554622
T1-T6	1	>	0.41578147
T1-T7	1.04166667	>	0.40237887
T1-T8	1.08333333	>	0.38200145
T2-T3	0.375	<	0.56710776
T2-T4	0.41666667	<	0.43320485
T2-T5	0.5	>	0.42554622
T2-T6	0.70833333	>	0.41578147
T2-T7	0.75	>	0.40237887
T2-T8	0.79166667	>	0.38200145
T3-T4	0.04166667	<	0.43320485
T3-T5	0.125	<	0.42554622

T3-T6	0.33333333	<	0.41578147
T3-T7	0.375	<	0.40237887
T3-T8	0.41666667	>	0.38200145
T4-T5	0.08333333	<	0.42554622
T4-T6	0.29166667	<	0.41578147
T4-T7	0.33333333	<	0.40237887
T4-T8	0.375	<	0.38200145
T5-T6	0.20833333	<	0.41578147
T5-T7	0.25	<	0.40237887
T5-T8	0.29166667	<	0.38200145
T6-T7	0.04166667	<	0.40237887
T6-T8	0.08333333	<	0.38200145
T7-T8	0.04166667	<	0.38200145

Cuadro 31: Resultados de la evaluación del sabor de la harina obtenida por diferentes tratamientos.

Panel	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Σ
1	4	2	5	3	4	3	4	4	29
2	3	3	4	3	4	3	4	3	27
3	5	3	3	3	3	3	3	3	26
4	3	3	4	3	3	4	4	3	27
5	4	4	3	4	3	4	3	3	28
6	3	3	3	3	4	4	4	3	27
7	4	4	3	3	3	3	4	4	28
8	4	3	3	4	4	3	3	3	27
9	3	3	4	4	3	3	3	3	26
10	4	4	3	3	3	3	4	4	28
11	3	3	3	3	3	3	3	5	26
12	3	4	3	4	4	3	3	4	28
13	4	4	3	4	4	3	2	4	28
14	4	5	3	3	3	4	3	4	29
15	3	4	3	3	3	3	4	3	26
16	4	3	4	4	3	3	3	3	27
17	4	4	4	4	3	4	4	3	30
18	4	5	3	4	2	3	3	4	28
19	3	3	3	3	4	3	3	3	25
20	4	4	4	3	3	3	3	3	27
21	4	4	3	3	3	3	4	3	27
22	4	3	4	3	3	4	3	4	28
23	5	4	3	3	4	3	3	3	28
24	4	3	3	3	4	4	4	3	28
Σ	90	85	81	80	80	79	81	82	658

Donde:

T1: Liofilizado, sin escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T2: Liofilizado, sin escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

T3: Liofilizado, con escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T4: Liofilizado, con escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

T5: Aire caliente, sin escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T6: Aire caliente, sin escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

T7: Aire caliente, con escaldado con $\rho = 3\text{kg/m}^2$

T8: Aire caliente, con escaldado con $\rho = 5\text{kg/m}^2$

Prueba de Duncan: (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8)

$$Cv = 17.428506 < 25\%$$

PRUEBA DE INTERVALOS MULTIPLES DE DUNCAN

$$S = 0.12192119$$

(Ti;GL error)	(r*)	(R*)
2;161	2.7932	0.34055028
3;161	2.9422	0.35871654
4;161	3.0402	0.37066481
5;161	3.1116	0.37936999
6;161	3.1676	0.38619757
7;161	4.1467	0.50557061
8;161	4.1904	0.51089857

Tratamiento Promedio	
T1	3.75
T2	3.54166667
T3	3.375
T4	3.33333333
T5	3.33333333
T6	3.29166667
T7	3.375
T8	3.41666667



De menor a mayor Tratamiento Promedio	
T6	3.29166667
T4	3.33333333
T5	3.33333333
T3	3.375
T7	3.375
T8	3.41666667
T2	3.54166667
T1	3.75

T1-T2	0.20833333	<	0.51089857
T1-T8	0.33333333	<	0.50557061
T1-T7	0.375	<	0.38619757
T1-T3	0.375	<	0.37936999
T1-T5	0.41666667	>	0.37066481
T1-T4	0.41666667	>	0.35871654
T1-T6	0.45833333	>	0.34055028
T2-T8	0.125	<	0.50557061
T2-T7	0.16666667	<	0.38619757
T2-T3	0.16666667	<	0.37936999
T2-T5	0.20833333	<	0.37066481
T2-T4	0.20833333	<	0.35871654
T2-T6	0.25	<	0.34055028
T8-T7	0.04166667	<	0.38619757
T8-T3	0.04166667	<	0.37936999
T8-T5	0.08333333	<	0.37066481
T8-T4	0.08333333	<	0.35871654

T8-T6	0.125	<	0.34055028
T7-T3	0	<	0.37936999
T7-T5	0.04166667	<	0.37066481
T7-T4	0.04166667	<	0.35871654
T7-T6	0.08333333	<	0.34055028
T3-T5	0.04166667	<	0.37066481
T3-T4	0.04166667	<	0.35871654
T3-T6	0.08333333	<	0.34055028
T5-T4	0	<	0.35871654
T5-T6	0.04166667	<	0.34055028
T4-T6	0.04166667	<	0.34055028

*"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú o de la integración
Nacional y el Reconocimiento de Nuestra Diversidad"*



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

OFICINA CENTRAL DE INVESTIGACION

**"CATALOGO DE TRABAJOS DE INVESTIGACION - TIPRO"
RESOLUCION N° 1562-2006-ANR**

REGISTRO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

I. DATOS GENERALES (PRE GRADO):

- 1.1. Universidad:** Universidad Nacional del Santa.
- 1.2. Escuela o Carrera Profesional:** Ingeniería Agroindustrial.
- 1.3. Título del Trabajo:** "Estudio Comparativo De La Calidad De La Harina De Lúcumá (*Pouteria Lúcumá*) Deshidratada Mediante Liofilización Y Aire Caliente"
- 1.4. Área de Investigación:** Investigación y Control de Calidad
- 1.5. Autores:**

N° DNI	Apellidos y Nombres
44371302	Valiente Montes Kathya Elizabeth
44623360	Pazos Cribillero Yesabella Alejandra

- 1.6. Título Profesional a que conduce:** Ingeniero Agroindustrial
- 1.7. Año de aprobación de la sustentación:** 2012

II. CONTENIDO DEL RESUMEN:

2.1. Planteamiento del Estudio:

2.1.1 Objeto de la investigación.

El objeto de investigación del presente proyecto es la Lúcumá.

2.1.2 Formulación del problema.

¿En qué medida se diferencia las características de la harina de lúcumá deshidratada mediante liofilización y aire caliente?

2.2 Objetivos:

2.2.1 Objetivo General:

Realizar el estudio comparativo de la calidad de harina de lúcumá (*Pouteria lúcumá*) deshidratada mediante liofilización y aire caliente.

2.2.2 Objetivos Específicos:

- Evaluar el efecto del escaldado en la calidad fisicoquímica y sensorial de la harina de lúcumá
- Evaluar la influencia de la densidad de carga en la calidad fisicoquímica y sensorial de la harina de lúcumá
- Evaluar comparativamente el efecto de la liofilización y secado con aire caliente en la calidad fisicoquímica y sensorial de la harina de lúcumá
- Evaluar la calidad fisicoquímica y sensorial del producto final.

2.3 Hipótesis:

El liofilizado es el método de secado más adecuado para la obtención de harina de lúcumá (*Pouteria lúcumá*) de mejor calidad, en comparación al método de secado por aire caliente.

2.4 Breve referencia al marco teórico:

2.5 Conclusiones:

1. El efecto del escaldado en la calidad fisicoquímica de la harina de lúcuma deshidratada presento una mayor variación total del color en el T₆ ($\Delta E = 30.72$) y una menor variación total del color en el T₃ ($\Delta E = 12.93$), teniendo el T₃ una mayor aceptación sensorial con un puntaje de 3.83, con un calificativo de bueno.
2. La densidad de carga influyo directamente en el tiempo de secado del producto, siendo para el Liofilizado: con $\rho=3\text{kg/m}^2$ - 7 horas y $\rho=5\text{kg/m}^2$ - 9 horas, mientras que para el método de secado por Aire Caliente con $\rho=3\text{kg/m}^2$ - 8 horas y $\rho=5\text{kg/m}^2$ - 10 horas.
3. El método de liofilización presentó mejores características fisicoquímicas por tener menor cantidad de humedad (8.82%), en comparación al método por Aire caliente (9.29% humedad).
4. Se evaluó las características fisicoquímicas y sensoriales de la harina deshidratada de lúcuma, con la finalidad de evaluar su variación con respecto a la materia prima. Para el Liofilizado: cenizas=2.17%, pH=5.59, contenido de grasa= 2.16%; para Aire Caliente: cenizas=2.04%, pH=6.23, contenido de grasa= 2.18%; siendo los valores esperados, en cuanto al análisis sensorial se obtuvo una mejor harina deshidratada de Lúcuma con el método de secado por Liofilización, con escaldado y $\rho=3\text{kg/m}^2$ (T₃).

2.6 Recomendaciones:

- Realizar el proceso de secado de la materia prima empleando otros tipos y equipos de secado.
- Realizar una investigación en el enriquecimiento de la harina de lúcuma mediante la adición de vitaminas o de otros nutrientes, así como también un estudio sobre la utilización de esta harina como insumo en la elaboración de un producto.
- El manejo de las muestras debe realizarse con mucho cuidado, ya que cuando no están deshidratadas completamente, tienden a pegarse a las bandejas, entonces se parten y pueden perderse porcentajes de masa que podrían marcar diferencia a la hora de la evaluación final.

2.7 Bibliografía:

- Aldazua, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Editorial Acribia S. A. Zaragoza-España.
- AOAC. (1990). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (15th ed.). In K. Helrich (ed). Washington, DC, USA: AOAC.
- Badui, D.S (1984). Química de los alimentos. Editorial Alhambra. México.
- Barrera G. Miguel Ángel y otros (2009). Cinética de Secado de Lúcuma (Pouteria lúcuma L.). Universidad Nacional Toribio Rodríguez

de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas – Amazonas – Perú.

- Belitz, H.D; Grosh, W. (1988). Química de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza-España.
- Berset, C & Caniaux, P. (1983). Relationship between color evaluation and chlorophyllian pigment content in dried parsley leaves journal of Food Science.
- Bravermann, J. B. S (1980). Introducción a la bioquímica de los alimentos. Editorial Omega. Barcelona-España.
- Brennan, J.G., Butters, J.R. (1980). “Las operaciones de la ingeniería de los alimentos”. Editorial Acribia. España.
- Ceballos, A. (2008). Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta. Tesis de grado para optar el grado de Magister en Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Manizales-Colombia.
- Francis, F. J, 1995. Quality as influenced by color. Food Quality and preference. V.6.
- Gregory, J. (1996) Vitamins. In: Fennema, O.R. Food Chemistry. 3ed. 1996.
- Hunterlab, 1996. The basics of color perception and measurement. Version 1.4. Disponivel em: <<http://www.hunterlab.com>>
- Lawless H.T & Heymann, H. 1999. Sensory evaluation of food Maryland: Aspen Publishers.
- Manual básico de Liofilización. (2005)

- McCabe, W.L., Smith, J.C. (1975) "Operaciones básicas de ingeniería química". Volumen II. Editorial Reverté. Buenos Aires.
- Marcelo Gutierrez. (2004). Programa Chalaco. "Producción de harina de lúcuma". Piura.
- Minolta, 1991. Chroma meter CR-300/ CR-310/ CR-321/ CR-331. Instruction manual. Osaka-Japón.
- Ocampo, A. 2006. Modelo cinético del secado de pulpa de mango. Revista EIA. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Perera Horacio, Yanovsky J. 1996. Proyecto LIAL – Liofilización Alimentaria. Buenos Aires.
- Perry, J. y C. Chilton. (1982). Manual del Ingeniero Químico. Editorial McGraw-Hill. 2da. Edición. Bogotá.
- PROINVERSION. (2000) "Resumen ejecutivo de producción de harina de lúcuma". Lima.
- PROLÚCUMA. (2001) "Proyecto de inversión de una planta de harina de lúcuma". Lima.
- Rojas, T. (1996). Influencia del Método de Secado en la Calidad de la Fresa (*Fragaria vesca*) deshidratada. Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Terroni (2003). Manual Básico de Liofilización. Sao Paulo-Brasil.
- Vega, A.A. y R.A. Lemus. (2006). Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (*Vasconcellea pubescens*). Inf. tecnol. Vol.17 (3): 23-31.

- Vidal-Brotóns, D (2004). Estabilidad de Pigmentos en Frutas Sometidas a Tratamiento, disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v15n1/v15n1a02.pdf>
- Villanueva Mendoza, Carlos Manuel. (2002). "Cultivo comercial de la lúcuma en Perú y el mercado internacional". Lima.
- Zamora Montero, Fernando. "Estudio de factibilidad para la implementación de una empresa productora y exportadora de harina de lúcuma a los países de Estados Unidos y Chile". Tesis. Universidad Nacional de Ingeniería. 1999.
- <http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BVirUDEP/bfrmrecurso.asp?numID=&exten=&CodMill=b10647740&TipRec=2>