

**UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**"EFECTO DE LA CANTIDAD DE PULPA FRESCA Y LA
TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO EN LA OBTENCIÓN DE
HARINA DE LÚCUMA (POUTERÍA OBOVATA)"**

TESIS

**Presentada como requisito para
optar el Título Profesional de:**

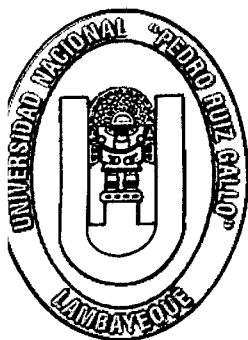
INGENIERO QUÍMICO

Por

**BACH. NAVARRETE CARRANZA JUAN JOSÉ
BACH. ODAR ARROYO CARLOS JAVIER NOÉ**

LAMBAYEQUE - PERÚ

2015



UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**"EFECTO DE LA CANTIDAD DE PULPA FRESCA Y LA
TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO EN LA OBTENCIÓN DE
HARINA DE LÚCUMA (POUTERÍA OBOVATA)"**

TESIS

**Presentada como requisito para
optar el Título Profesional de:**

INGENIERO QUÍMICO

Por

BACH. NAVARRETE CARRANZA JUAN JOSÉ
BACH. ODAR ARROYO CARLOS JAVIER NOÉ

LAMBAYEQUE – PERU

2015

**“EFECTO DE LA CANTIDAD DE PULPA FRESCA Y LA
TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO EN LA OBTENCIÓN DE
HARINA DE LÚCUMA (POUTERÍA OBOVATA)”**

TESIS

**Presentada como requisito para
optar el Título Profesional de:**

INGENIERO QUÍMICO

Por

**BACH. NAVARRETE CARRANZA JUAN JOSÉ
BACH. ODAR ARROYO CARLOS JAVIER NOÉ**

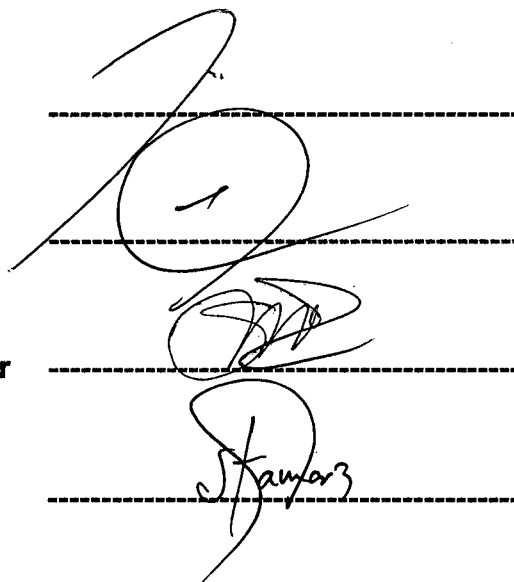
**Sustentada y aprobada ante el
Siguiente jurado**

**Ing. M.Sc. Jaime Lucho Cieza Sánchez
Presidente**

**Ing. M.Sc. Iván Pedro Coronado Zuloeta
Secretario**

**Ing. M.Sc. Sebastián Huangal Scheineder
Vocal**

**Ing. Gerardo Santamaría Baldera
Asesor**



The image shows four horizontal dashed lines, each with a handwritten signature written over it. The signatures are in black ink and appear to be cursive or semi-cursive. The first signature is the largest and most prominent, followed by the second, third, and fourth which are progressively smaller and less distinct.

DEDICATORIAS

*A Jehová mi Dios las gracias,
por darme la vida, por brindarme
los conocimientos necesarios
para realizar mis sueños y por
tener unos padres maravillosos.*

*A mi hermano Paúl Odar, por
apoyarme en los momentos más
difíciles de mi vida, por
brindarme su confianza, su
comprensión, por los gratos
momentos compartidos y por
ese inmenso amor de hermano
que nos tenemos.*

*A mi sobrina Andrea Fabiana, va
dedicado este máximo logro de
mi vida y por regalarme
inmensos días de alegrías y de
mucha felicidad.*

*A mis padres Augusto Javier
Odar Falla y Consuelo Elena
Arroyo Montero, que me
apoyaron en mis estudios y por
ese inmenso amor que me dan
día a día y por sus sabios
consejos que me brindan en
todo momento de mi vida,*

*A mi cuñada Fiorella, por
apoyarme en los últimos ciclos
de mi carrera y por la confianza
que me brindo.*

Carlos

Con mucho amor, cariño, respeto y admiración a mis padres, porque desde pequeño motivaron en mí el deseo de superación e inculcaron siempre valores y principios.

A mi padre Juan José Navarrete cherres, que aunque no está presente físicamente conmigo, me hace recordar a diario el valor de la familia y el amor a mi madre Gladys Elizabeth Carranza Villacorta, por ser el motor que me hace ser mejor día a día.

A mis hermanos y familiares, con los cuales recuerdo siempre que la base de la sociedad es la familia.

Juan José

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Gerardo Santamaría Baldera, por ser nuestro asesor, por su dedicación, por habernos brindado los conocimientos necesarios en la carrera para formarnos como profesionales, por su apoyo personal y por la confianza que nos dio para llevar a cabo la presente Tesis.

Al Ing. M.Sc. Enrique A. Villareal Alvitres, por su apoyo incondicional en la presente Tesis, en el uso del software aplicado en los cuadros estadísticos, en el manejo del secado y por habernos dedicado tiempo y compartido su enseñanza en nuestra formación académica y profesional.

Al Dr. César A. Monteza Arbulú (Decano), al Ing. Rosario Armas Plaza, al Ing. M.Sc. Iván P. Coronado Zuloeta, al Ing. Enrique Hernández Oré y a los demás docentes y personal Administrativo de la Universidad Nacional "Pedro Ruíz Gallo", por haber contribuido en nuestra formación académica y profesional.

A todos nuestros familiares que estuvieron en lo largo de nuestra vida compartiendo momentos inolvidables y por apoyarnos siempre durante la culminación de la carrera de ingeniería química.

A nuestros grandes amigos por brindarnos su amistad incondicional, por haber compartido sus conocimientos y experiencia en lo largo de la carrera, por su apoyo permanente, por la confianza y por qué podemos contar con ellos en todo momento.

Carlos y Juan José

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

atm	Atmósfera
A	Área de la superficie expuesta (m^2)
cm	Centímetros
°C	Grados centígrados
Cs	Calor sensible
C _l	Calor latente
C _p	Capacidad específico ($KJ.^{\circ}C^{-1}.kg^{-1}$)
e	Espesor
g	gramos
GL	Grados de libertad
h	Entalpía
H	Humedad del producto
H _p	Humedad absoluta porcentual
H _r	Humedad relativa
%H	Porcentaje de humedad
k	Coefficiente de velocidad de secado (min^{-1})
Kcal	Kilocaloría
Kg	Coefficiente de transferencia de masa ($kg/m^2.min$)
NTP	Número total de pruebas
min	Minutos
ms	Peso del material seco(kg)
mmHg	Milímetros de mercurio
MAE	Error medio absoluto

M_{ss}	Masa de sólido seco
M_t	Masa del alimento húmedo para cada tiempo
ppm	Partes por millón
P	Peso
P_i	Peso inicial de la muestra
P_f	Peso final de la muestra
P_v	Presión de vapor
P_w	Presión de vapor de agua
%	Porcentaje
R	Razón
S	Peso del sólido seco
ss	Sólido seco (g sól seco)
T_{bh}	Temperatura de bulbo húmedo
T_{pr}	Temperatura de punto de rocío
T_s	Temperatura de secado (°C)
T^*	Temperatura termodinámica de bulbo húmedo
θ	Tiempo de secado
θ_{pc}	Tiempo a velocidad constante
\bar{V}	Velocidad promedio (g agua/min)
V_e	Volumen específico
V_{pc}	Velocidad de secado en período constante (g agua/min)
V_{pd}	Velocidad de secado en período decreciente (g agua/cm ² .min)
V_s	Velocidad de secado
W	Peso de pulpa fresca
W_{bs}	Humedad del bulbo seco (g agua/g s.s.)

X	Humedad libre
X^*	Humedad de equilibrio
X_{bs}	Humedad en base seca
X_c	Humedad crítica
X_{eq}	Humedad de equilibrio (kg/kg)
x_i	Humedad del material en un instante de tiempo (kg/kg)
Y	Velocidad de secado (g agua/min)
σ	Desviación estándar
ΔW	Variación humedad base seca (g agua/g s.s.)
$\Delta \theta$	Variación tiempo de secado (min)
ΔT	Variación del tiempo
μ	Grado de saturación

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....i

ÍNDICE GENERAL.....iv

LISTA DE FIGURAS.....xi

LISTA DE TABLAS.....xiii

RESUMEN.....xvi

ABSTRACT.....xvii

INTRODUCCION.....xviii

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. 1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....2

1. 2. DESCRIPCIÓN DE LA LÚCUMA.....3

1.2.1. Definición.....3

1.2.2. Origen.....4

1.2.3. Importancia.....5

1. 3. ASPECTOS BOTÁNICOS Y MORFOLÓGICOS.....5

1.3.1. Clasificación botánica.....5

1.3.2.	Ecología y adaptación.....	6
1.3.3.	Variedades.....	6
1.3.4.	Características de la planta.....	6
1.3.5.	Estructura del fruto.....	7
1.3.6.	Propiedades de la lúcuma.....	8
1.3.7.	Composición química y valor nutricional de lúcuma.....	9
1. 4.	LA PLANTA Y SU CULTIVO.....	11
1.4.1.	Principales plagas y enfermedades.....	15
1.4.2.	Cosecha.....	16
1.4.3.	Post-cosecha.....	16
1.4.4.	Principales países productores.....	17
1.4.5.	Producción de lúcuma en el Perú.....	17
1.4.6.	Visión de desarrollo competitivo de lúcuma.....	19
1.4.7.	Proceso de producción.....	19
1. 5.	USOS.....	20
1. 6.	VARIABLES.....	21
1.6.1.	Variable independiente.....	21
1.6.2.	Variable dependiente.....	21

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

2. 1.	DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	23
2. 1.1.	Pulpa fresca.....	23

2. 1.2.	Harina de lúcuma.....	23
2. 2.	IMPORTANCIA.....	25
2. 3.	PROPIEDADES.....	25
2. 4.	CADENA PRODUCTIVA DE LA LÚCUMA.....	26
2. 4.1.	Abastecimiento de frutas.....	26
2. 4.2.	Abastecimiento de pulpa y harina de lúcuma.....	27
2. 5.	EXPORTACIÓN DE LOS DERIVADOS DE LA LÚCUMA.....	28
2. 5.1.	Exportaciones de pulpa de fruta.....	31
2. 5.2.	Exportaciones de harina de lúcuma.....	31
2. 5.3.	Equivalente de proporción de harina de lúcuma.....	31
2. 6.	OPORTUNIDAD DE LA HARINA DE LÚCUMA EN EL MERCADO DE HARINAS DE FRUTAS.....	32
2. 7.	TENDENCIAS DEL CONSUMO INDUSTRIAL DE LÚCUMA.....	32
2. 8.	DEMANDA NACIONAL E INTERNACIONAL DE LA HARINA DE LÚCUMA.....	33
2. 8.2.2.	Demanda Nacional.....	33
2. 8.2.	Demanda Internacional.....	35
2. 9.	PROBLEMÁTICA QUE AFRONTA LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE LÚCUMA.....	35
2. 10.	SECADO.....	36
2. 10.1.	TIPO DE SECADORES.....	40
2. 10.1.1.	Secador de dos plantas.....	40
2. 10.1.2.	Secador de cabina, bandejas o compartimentos.....	40
2. 10.1.3.	Secador de túnel.....	41
2. 10.1.4.	Secador de transportador.....	42

2. 10.1.5. Secador de tolva.....	42
2. 10.1.6. Secador de fluidizado.....	42
2. 10.1.7. Secador neumático.....	43
2. 10.1.8. Secador rotatorio.....	43
2. 10.1.9. Secador atomizador.....	44
2. 10.2. CONTENIDO DE HUMEDAD.....	44
2. 10.2.1. Formas de enlace de la humedad con el material.....	45
2. 10.2.2. Definiciones fundamentales.....	47
2. 10.2.3. Clasificación de la operación de secado.....	53
2. 10.2.4. Mecanismos y cinética de secado con transferencia de masa y calor..	54
2. 10.2.5. Movimiento de la humedad dentro del sólido.....	56
2. 10.2.6. Cinética de secado.....	58
2. 10.2.7. Curvas de régimen de secado.....	59
2. 10.2.8. Equilibrio durante del secado.....	64
2. 10.3. PSICOMETRÍA.....	67
2. 10.3.1. Aire atmosférico.....	68
2. 10.3.2. Propiedades termodinámicas del aire húmedo.....	70
2. 10.3.3. Gráfico psicométrico.....	75

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN.....	79
3.2. SISTEMAS DE VARIABLES.....	79
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	80
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	81

3.4.1.	Universo y objetivo.....	81
3.4.2.	Universo muestral.....	81
3.4.3.	Población.....	81
3.4.4.	Muestra.....	81
3.5.	MATERIALES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	81
3.5.1.	Materiales y equipos.....	81
3.5.2.	Técnicas y recolección de datos.....	83
3.5.3.	Instrumentos de recolección de datos.....	83
3.6.	MÉTODO DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	83
3.6.1.	Materia prima.....	83
3.6.2.	Recepción y pesado.....	83
3.6.3.	Selección.....	84
3.6.4.	Lavado y desinfección.....	84
3.6.5.	Pelado.....	84
3.6.6.	Despedado.....	84
3.6.7.	Rebanado.....	84
3.6.8.	Secado.....	84
3.6.9.	Molienda.....	85
3.6.10.	Envasado.....	85
3.6.11.	Producto.....	85
3.7.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	85
3.8.	EQUIPO DE LA PLANTA.....	87
3.8.1.	EQUIPO EXPERIMENTAL DE SECADO.....	87
3.8.1.1.	Características del secador de bandejas.....	88

3.8.1.2.	Caja de seguridad.....	93
3.8.1.3.	Instrumentación acoplada.....	95
3.8.2.	TÉCNICAS APLICADAS.....	97
3.8.3.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS APLICADOS.....	98
3.8.3.1.	Metodología.....	98
3.8.3.2.	Procedimiento para la recolección de datos experimentales.....	98

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.	ENSAYO DEL SECADO DE LA PULPA DE LÚCUMA CON PESOS Y TEMPERATURAS DIFERENTES.....	107
4.2.	DISTRIBUCIÓN NORMAL EN LA VS (VELOCIDAD DE SECADO) DE LA LÚCUMA.....	119
4.2.1.	Distribución normal de la probabilidad o distribución normal de la velocidad de secado a 40°C.....	110
4.2.2.	Distribución normal de la probabilidad o distribución normal de la velocidad de secado a 50°C.....	111
4.2.3.	Distribución normal de la probabilidad o distribución normal de la velocidad de secado a 60°C.....	112
4.3.	RESULTADOS DE LA VELOCIDAD DE SECADO DE 90 MUESTRAS EXAMEN DE LÚCUMA.....	113
4.4.	RESULTADOS DE LA VELOCIDAD DE SECADO A 40°, 50° Y 60°C.....	114

4.5.	EL EFECTO DEL PESO DE LA PULPA Y LA TEMPERATURA A LA VELOCIDAD DE SECADO.....	115
4.6.	CONSTRUCCIÓN Y VERIFICACIÓN DEL MODELO DE LA VELOCIDAD DE SECADO.....	118
4.6.1.	Modelo de la ecuación ajustada para la vs de la lúcuma.....	118
CONCLUSIONES.....		122
RECOMENDACIONES.....		124
GLOSARIO.....		126
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....		130
APÉNDICE.....		134
ANEXOS.....		157

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1. Cerámicas pre-incas representando frutas de lúcuma con forma esférica y cónica.....	4
Figura 1.2. Partes de la fruta lúcuma.....	8
Figura 1.3. Planta y fruto de lúcuma.....	12
Figura 1.4. Usos diversos de la lúcuma.....	21
Figura 2.1. Diagrama de bloques de abastecimiento de frutas.....	26
Figura 2.2. Diagrama de bloques de abastecimiento local de pulpa y harina de lúcuma.....	27
Figura 2.3. Velocidad de evaporación vs peso de la muestra.....	49
Figura 2.4. Curva de velocidad de secado vs humedad.....	60
Figura 2.5. Dependencia entre la humedad de equilibrio del material y humedad relativa del aire.....	65
Figura 3.1. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de harina a partir de la lúcuma.....	86
Figura 3.2. Vista frontal del secador de bandejas.....	87
Figura 3.3. Cámara de secado y bandeja porta muestra.....	90
Figura 3.4. Ducto de aire.....	91
Figura 3.5. Envolvente y conexión al ducto del ventilador de aire.....	92
Figura 3.6. Caja y resistencias del calentador eléctrico.....	93
Figura 3.7. Caja de seguridad.....	94
Figura 3.8. Termocupla.....	95
Figura 3.9. Termómetro diferencial en U.....	96

Figura 3.10. Lúcura seleccionada.....	99
Figura 3.11. Pelado manual de la lúcura.....	100
Figura 3.12. Balanza electrónica para el tarado de la bandejas.....	100
Figura 3.13. Pesado de las muestras.....	101
Figura 3.14. Acondicionamiento del secador de bandejas.....	101
Figura 3.15. Rodajas de lúcura deshidratadas.....	102
Figura 4.1. Respuesta de la velocidad de secado a 40°C.....	110
Figura 4.2. Probabilidad de la velocidad de secado a 40°C.....	110
Figura 4.3. Respuesta de la velocidad de secado a 50°C.....	111
Figura 4.4. Probabilidad de la velocidad de secado a 50°C.....	111
Figura 4.5. Respuesta de la velocidad de secado a 60°C.....	112
Figura 4.6. Probabilidad de la velocidad de secado a 60°C.....	112
Figura 4.7. Capacidad del proceso de secado de 90 muestras.....	113
Figura 4.8. Probabilidad de la velocidad de secado de 90 muestras.....	113
Figura 4.9. Capacidad del proceso de secado multivariada.....	114
Figura 4.10. Probabilidad de la velocidad de secado multivariable.....	114
Figura 4.11. Medias de factor para la velocidad de secado.....	115
Figura 4.12. Interacciones de Peso y la Temperatura en la VS.....	116
Figura 4.13. Interacción del Peso y la Temperatura en la VS.....	116
Figura 4.14. Efectos Principales del Peso y la Temperatura.....	117
Figura 4.15. Contornos de la superficie de respuesta estimada de la velocidad de secado.....	120
Figura 4.16. Superficie de respuesta estimada de la VS.....	121
Figura A1.1. Humedad libre de la lúcura en función del tiempo a 50°C.....	141
Figura A1.2. Velocidad de secado en función del contenido de humedad libre a 50°C.....	143
Figura A1.3. Curva de humedad (W) en función de 1/Vs.....	144

Figura A2.1. Velocidad de secado vs humedad libre a 40°C.....	154
Figura A2.2. Velocidad de secado vs humedad libre a 40°C.....	155
Figura A2.3. Velocidad de secado vs humedad libre a 40°C.....	156

LISTA DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1.1. Composición proximal del fruto de lúcuma.....	7
Tabla 1.2. Composición química de lúcuma en 100 g de fruta.....	11
Tabla 1.3. Rendimiento de Lúcuma.....	14
Tabla 1.4. Rendimiento nacional de lúcuma 1987–1999 (Kg/ha).....	15
Tabla 1.5. Producción de la lúcuma según los departamentos en el año 2005-2006.....	18
Tabla N° 2.1. El valor nutricional de 100 gr. de pulpa fresca y de harina de lúcuma.....	24
Tabla 2.2. Ventajas y valor nutricional de los derivados en 100 g.....	30
Tabla 2.3. Exportación de pulpa de harina (FOB US\$ miles).....	31
Tabla 2.4. Composición del aire seco.....	69
Tabla 3.1. Niveles de las variables de estudio.....	79
Tabla 3.2. Diseño de la matriz experimental.....	80
Tabla 3.3. Características del secador de bandejas.....	89
Tabla 3.4. Características de la cámara de secado.....	89
Tabla 3.5. Características del ducto de aire.....	90
Tabla 3.6. Características del generador de aire.....	91
Tabla 3.7. Características del calentador eléctrico.....	92
Tabla 3.8. Característica del controlador de temperatura.....	94
Tabla 4.1. Velocidad de secado, durante 180 minutos, de la pulpa de lúcuma, expuestos en el secador de bandejas a nivel de laboratorio.....	108
Tabla 4.2. Análisis de varianza para la velocidad de secado.....	117

Tabla 4.3 Análisis de la ANOVA para la velocidad de secado.....	119
Tabla 4.4 Velocidad de secado (g agua/min) a diferentes pesos de pulpa y temperaturas de secado durante intervalos de 180 minutos.....	121
Tabla A1.1. Resultados de pruebas de secado de pulpa de Lúcum a 50°C.....	136
Tabla A1.2. Datos de la pulpa de Lúcum.....	137
Tabla A1.3. Resultados de pruebas de secado de pulpa de Lúcum a 50°C.....	139
Tabla A1.4. Datos par gráfica la humedad en función del tiempo a 50°C.....	140
Tabla A1.5. Datos para graficar la humedad en función del tiempo a 50°C.....	141
Tabla A1.6. Datos para graficar la curva de velocidad de secado a 50°C.....	142
Tabla A1.7. Datos para graficar la curva de secado 50°C.....	143
Tabla A1.8. Datos para graficar la humedad (W) en función de 1/Vs 50°C.....	144
Tabla A2.1. Características de las bandejas y lúcum procesada.....	149
Tabla A2.2. Datos de secado de lúcum fresca a 40°C.....	149
Tabla A2.3. Datos de secado de lúcum fresca a 50°C.....	150
Tabla A2.4. Datos de secado de lúcum fresca a 60°C.....	150
Tabla A2.5. Resultados del secado de la pulpa de lúcum a 40°C.....	151
Tabla A2.6. Resultados del secado de la pulpa de lúcum a 50°C.....	152
Tabla A2.7. Resultados del secado de la pulpa de lúcum a 60°C.....	153

RESUMEN

El objetivo del estudio es establecer o determinar el efecto de la cantidad de pulpa fresca y la temperatura del aire de secado en la obtención de harina de lúcuma (*Pouteria obovata*), de excelente calidad, en función de la temperatura, tiempo de secado y tamaño de las partículas de harina, los que finalmente definen el rendimiento del proceso. Se utilizó frutas en su estado óptimo de madurez organoléptica, para evitar que se oxide por acción de las enzimas, se utilizó una solución de 80 partes por millón (ppm) de metabisulfito de potasio. Las temperaturas que se utilizaron fueron de 40°C, 50°C y 60°C durante 180 minutos, el cual se llevó a cabo en un secador de bandejas de acero inoxidable, con control de temperatura y tiempo.

La lúcuma, originaria de los valles interandinos del Perú, Ecuador, Colombia y Chile se caracteriza por ser un cultivo permanente, es empleada en la elaboración de una diversidad de productos como bebidas, pasteles, galletas, budines y tortas. Sus características singulares, su sabor exótico y no tradicional lo hace un producto exportable, pero no como fruta fresca, sino bajo la forma de pulpa fresca o harina.

Entre los métodos de deshidratación tenemos el secado por bandejas que ha despertado interés desde que fue puesto en práctica, debido a los éxitos obtenidos por la adopción de este método en diferentes industrias y, en especial la industria alimenticia.

ABSTRACT

The aim of the study is to establish or determine the effect of the amount of fresh pulp and temperature of the drying air in obtaining eggfruit flour (*obovata* Pouteria), excellent quality in function of temperature, drying time and size flour particles, which eventually define the process performance. Fruit used in its optimum *organoleptic* maturity, to prevent rusting by the action of enzymes, a solution of 80 parts per million (ppm) of potassium metabisulfite was used. Temperatures used were 40°C, 50°C and 60°C for 180 minutes, which was carried out in a tray dryer stainless steel, with temperature and time control.

Lucuma, native to the Andean valleys of Peru, Ecuador, Colombia and Chile is characterized by a permanent crop, it is used in making a variety of products such as drinks, cakes, cookies, puddings and cakes. His nontraditional unique characteristics, its exotic flavor and makes an exportable product, but not as fresh fruit, but in the form of fresh pulp or flour.

Methods of dehydration drying trays have awakened interest since it was implemented due to the successes of the adoption of this method in different industries and especially the food industry.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene como finalidad establecer o determinar el efecto de la cantidad de pulpa fresca y la temperatura del aire de secado en la obtención de harina de lúcuma (*pouteria obovata*), de excelente calidad que conserve las características organolépticas, físicas y químicas de la fruta fresca, que viene siendo aplicado por grupos organizados de pobladores de la zona de Lambayeque. También se estudia los parámetros principales que determinan la producción de harina (temperatura, tiempo de secado, y el tamaño de la partícula de harina), mejorando de esta manera la tecnología de producción de harina existente que mayormente es de forma artesanal en el interior del país. El Perú es el principal productor de lúcuma (*pouteria obovata*) en el mercado internacional; siendo los departamentos con mayor producción: Lima (principal productor), Ayacucho, Cajamarca, Piura, Huancavelica, Lambayeque; entre otros. Debido a su sabor exótico y a su valor nutritivo es utilizada desde épocas ancestrales como parte de la dieta alimenticia de las poblaciones que se asentaron en las localidades de la costa y sierra del Perú, encontrándose entre los 100–3000 msnm.

Este estudio abarca todas las etapas del proceso de obtención de harina de lúcuma (desde el acopio de fruta hasta el envasado de la harina), las cuales arrojarán datos que permitirán controlarlas y optimizarlas.

Luego de ser seleccionada la fruta se agrega una solución de 80 partes por millón (ppm) de metabisulfito de potasio, para evitar el pardeamiento durante el procesado; se sometió al proceso de deshidratación en un secador de bandejas a nivel de laboratorio. Para el proceso de secado se estableció la condición de temperatura de 40°C hasta una temperatura máxima de 60°C, por un tiempo de 180 minutos, con intervalos de 20 minutos. Una vez obtenida la pulpa de lúcuma seca, se somete al proceso de molienda, con la finalidad de disminuir el tamaño de la partícula y hacerla más transportable.

La lúcuma es un fruto simbólico para la cultura peruana, de gran importancia en la dieta diaria de las personas debido a su alto contenido en carbohidratos, minerales y vitaminas sumado a su especial sabor.

Es por estas y muchas más razones que la lúcuma y sus derivados (pulpa y harina) tienen cada vez más potencial de demanda en mercados locales e internacionales para usos en la industria alimentaria como en repostería, heladerías y bebidas, entre otros.

El Perú es potencialmente la mayor fuente de abastecimiento de la lúcuma debido a que se exporta desde hace más de 20 años en el mercado internacional, actualmente ha alcanzado posicionarse poco a poco en la mente de los consumidores extranjero

• EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

La lúcuma es una fruta pequeña redonda de más o menos 10 cm. de diámetro, de color verde oscuro de aroma muy agradable, su comida es dulce de color amarillo intenso, su textura es harinosa y tiene una pepa o caroso pequeño de color marrón oscuro.

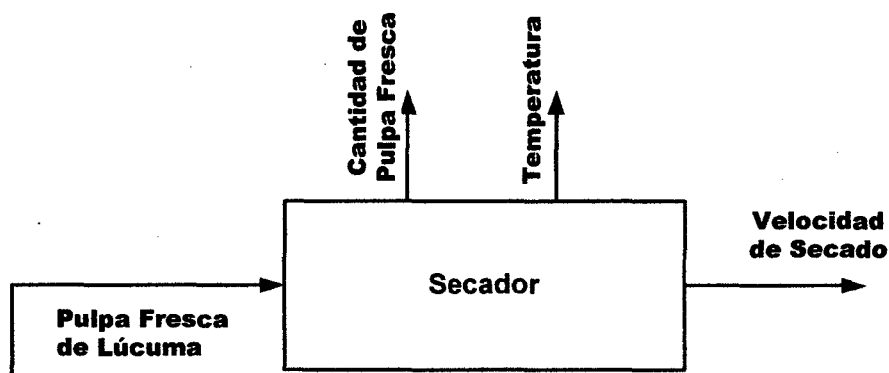
Dentro de los productos agrícolas que tienen un potencial de industrialización alto, se encuentra la Lúcuma (*Lúcuma obovata* H.P.K.), según lo sostiene Brenner en 1965, de esta se elabora cierto tipo de harina que es utilizada como saborizante, principalmente en la industria del helado.

El fruto tiene una alta perecibilidad y tiende a descomponerse rápidamente, aún en las mejores condiciones después de madurarse, además tiene una piel muy

delgada lo cual la hace muy vulnerable a los esfuerzos mecánicos que se producen durante el manipuleo y transporte, desde la cosecha al consumidor.

Cuando se procesa, la lúcuma cortada toma un color oscuro como consecuencia de la oxidación natural (pardeamiento enzimático), y por lo tanto la harina resulta con un color poco atractivo que desmerece todas las bondades del producto a nivel internacional. El pardeamiento enzimático, es producido por unas enzimas presentes en el vegetal denominadas polifenoloxidasas, que en un ambiente húmedo producen la oxidación de los polifenoles incoloros, en una primera etapa a compuestos coloreados amarillos denominados teaflavinas, para concluir en tearrubiginas de colores marrones y rojos.

El problema científico planteado para el presente estudio se representó y se formula en la siguiente forma:



¿Cuál es el efecto de la cantidad de pulpa de lúcuma y la temperatura de la cámara de secado sobre la velocidad de secado de la pulpa fresca, cuando esta es secada en un secador de bandejas a nivel de laboratorio?

- **HIPÓTESIS DE TRABAJO**

La hipótesis de trabajo formulada fue:

“Es posible determinar que a mayor masa de pulpa de lúcuma fresca se disminuye la velocidad de secado de la pulpa fresca”

“La velocidad de secado de la pulpa fresca de lúcuma es mínima a temperaturas altas”

- **JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

Se basa en la aplicación y en la contrastación de los conceptos del proceso de deshidratación de la lúcuma por secado, utilizando un secador de bandejas a nivel de laboratorio.

Existe una escasa información sobre estudios de secado en secadores industriales.

La cantidad de material y la temperatura son dos variables de alta incidencia en un proceso lo que amerita entender mejor la operación de secado.

La calidad de la fruta fresca, luego de la etapa de cosecha, es un tema de mucho interés para toda la cadena de comercialización agraria. Pero más interesante

es resguardar las condiciones físico químicas de la fruta, ya que van a determinar la calidad del producto final.

Los mecanismos de secado son tan complejos como la dependencia entre las transferencias de calor y masa. La contribución de la energía puede ser usada para aumentar la temperatura del aire de secado y de la muestra, como para evaporar la humedad de la muestra. Al mismo tiempo, el agua emigra del interior de la muestra hacia a su superficie mediante difusión, en forma líquida o de vapor de acuerdo a la temperatura y al contenido de humedad de la muestra. Posteriormente, el agua es entonces evacuada hacia el ambiente exterior mediante convección.

El proceso de secado, genera valor agregado y alarga la vida de anaquel de la lúcuma; sin embargo, el proceso sigue siendo escaso debido a la falta de procedimientos competitivos para realizarlo. Conocer y entender el fenómeno de transferencia de calor y masa en rodajas o trozos de lúcuma durante el secado convectivo, ayudara a optimizar y hacer eficiente el proceso de secado de la lúcuma, y por ende, conseguir una mejor calidad en el producto final, el cual debe cumplir con las normas y estándares del mercado interno como del externo.

- **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

- **Objetivo general**

- Evaluar la influencia y la interacción del peso de la lúcuma fresca y la temperatura del aire caliente (transferencias simultáneas de calor y materia), sobre la velocidad de secado, mediante pruebas de deshidratación durante 180 minutos en un secador de

bandejas a nivel de laboratorio, mediante la observación gráfica y el registro de las condiciones físicas del agente secante.

➤ **Objetivos específicos**

- Realizar en el Laboratorio de Procesos Unitarios de la FIQIA-UNPRG, el proceso de secado de la lúcuma.
- Determinar la velocidad de secado durante 180 minutos a temperaturas de 40°, 50° y 60°C.
- Evaluar el efecto de la temperatura sobre la velocidad de secado en la temperatura.
- Evaluar la interacción de la masa de lúcuma fresca y la temperatura del aire caliente y la velocidad de secado.
- Desarrollar una ecuación empírica que relacione el peso de la lúcuma y la temperatura de la cámara de secado.
- Determinar la variación de la humedad del material con el tiempo.
- Establecer la curva de velocidad de secado (VS) de la lúcuma entre el peso del producto (g) y la temperatura (°C).
- Caracterizar la materia prima (Lúcuma), antes y después del proceso.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. 1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Del Castillo Málaga (2006). Estudió y evaluó los parámetros y mejoras de las etapas del proceso de obtención de harina de lúcuma con materia prima, personal y clima de zona. La harina de lúcuma elaborada en la campaña 2004-2005 fue de color amarillo claro, de sabor característico dulce y olor tenue. [8]

Lavado S. y Calderón R (2012). Utilizaron fruta de lúcuma en su estado óptimo de madurez, para evitar que se oxide por acción de la enzima, se utilizó una solución de 80 partes por millón (ppm) de metabisulfito de potasio. [9]

Maldonado A. Realizó diferentes corridas en un secador por atomización de laboratorio con distintas concentraciones de glucosa, CMC y pectina y distintas temperaturas del aire de entrada. Se obtuvo el mayor rendimiento con 5% de pectina respecto a los sólidos totales del jugo. [11]

En la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (2008). Se ensayaron tres temperaturas para el aire de secado (40°C, 50°C y 60°C) y tres velocidades del aire: 2.5, 3.0 y 3.5 m/s. El tiempo mínimo de secado fue de 120 minutos. Los resultados experimentales indican que la mayor similitud de color de la pulpa seca con la pulpa fresca de lúcuma y por ende de la harina de lúcuma obtenida, se consigue trabajando con aire de secado a una temperatura de 50°C y velocidad de 3.5 m/s; con estas condiciones del aire el tiempo crítico de secado fue de 40 minutos, la humedad crítica de 0.48g agua/g lúcuma seca, la humedad de equilibrio de 0,04 g agua/g lúcuma seca y la velocidad de secado fue de 0,020 g agua/g lúcuma seca.minuto. [16]

1. 2. DESCRIPCIÓN DE LA LÚCUMA

1.2.1. Definición

El lúcumo, el árbol adulto que produce lúcuma (POUTERÍA NITIDA-RACK), se reproduce mediante la semilla, realizándose el almácigo después de quebrar la dura cáscara que la envuelve o de desnudarla por completo y crece no muy alto, de copa al fácil alcance humano para simplificar la cosecha y cuando no es podado tempranamente tiene un tallo simple, cilíndrico y enhiesto, un tronco viril y enérgico como lo describe la leyenda, y fácilmente puede servir de eje o apoyo al accionar de un telar indígena. Por su naturaleza de fruto, se adapta climas subtropicales con temperaturas bajas, pero mayores que 20°C, tolera suelos y períodos secos.

El árbol de donde se extrae el fruto alcanza de 15 a 20 m de altura, con diámetro de copa de 6 a 10 m. La copa presenta abundantes ramas, cuyos brotes tiernos tienen pubescencia color marrón claro a marrón oscuro. Hojas alternas, lanceoladas u oblongas, elípticas u obovadas, con bordes ondulados en algunos cultivares, hasta 25 cm. de largo y 10 cm de ancho, ápice obtuso o subagudo. Hojas jóvenes color verde claro o rosado y muy pubescentes; hoja adulta verde oscuro brillante y glabra. Flores hermafroditas, pequeñas, verdes o marrón claro poco vistosas, nacen en la axila de la hoja en grupos pequeños.

El fruto es una baya esférica, cónica o comprimida basalmente, con exocarpio o cáscara delgada de color verde o amarillo bronceado, generalmente en la parte apical, rodeada de una coloración bruno plateada. El mesocarpio es de sabor y aroma muy agradable, color amarillo intenso, textura harinosa, de consistencia suave en el cultivar "lúcuma seda" y dura en el cultivar "lúcuma palo". El endocarpio hollejo que envuelve a la semilla es delgado y amarillo claro. El tamaño del fruto varía de 2 a 10 cm de diámetro, siendo los tamaños mayores en las plantas a mejorar.

La lúcuma, originaria de los valles interandinos del Perú, Ecuador, Colombia y Chile se caracteriza por ser un cultivo permanente, es empleada en la elaboración de una diversidad de productos como bebidas, pasteles, galletas, budines y tortas. Sus características singulares, su sabor exótico y no tradicional lo hace un producto exportable, pero no como fruta fresca, sino bajo la forma de ya sea pulpa o harina.

1.2.2. 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 las tumbas de las culturas preincas (ver Figura 1.1). La lúcuma se consumía hace ya 2000 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. 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 los andes peruanos, encontrándose la mayor concentración de su producción en Lima, Ayacucho, Cajamarca, Piura, Huancavelica y Lambayeque.

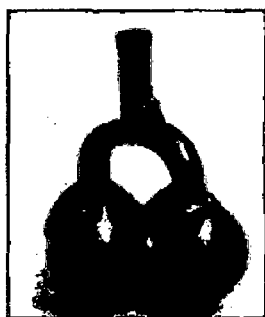


Figura 1.1. Cerámicas pre-incas representando frutas de lúcuma con forma esférica y cónica

Fuente: Prolúcuma (Asociación de Productores de Lúcuma), Chalaco-Piura

1. 2.3 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.

1. 3. ASPECTOS BOTÁNICOS Y MORFOLÓGICAS

1.3.1. Clasificación botánica

La lúcuma tiene la siguiente clasificación botánica:

- Familia: Sapotáceas
- Nombre científico: Poutería obovata
- Nombre común: Lúcuma
- Sinónimos: Achras lúcuma R&P
 - Lúcuma bífera Mol
 - Lúcuma obovata H.B.K.

- *Lúcuma turbinata* Molina
- *Pouteria insignis* Baehni
- *Richardella lúcuma* (R &P) Aubreville

1.3.2. Ecología y adaptación

Se encuentra silvestre en los valles interandinos con precipitación pluvial ente 1,000 a 1,800 mm/año, temperaturas medias de 20 a 22°C, pero sin riesgo de heladas. Se adapta bien a condiciones desérticas de la costa del Pacífico, pero con riego. No se ha probado su adaptación a climas de altas temperaturas y precipitaciones pluviales, como los existentes en la Amazonía, donde prospera mejor la *Lúcuma* (*Pouteria macrophylla*).

1.3.3. Variedades

La lúcuma, como fuente importante de consumo, se agrupa de acuerdo a la consistencia de la pulpa en “lúcuma de seda” y en “lúcuma de palo”. La primera es un fruto de pulpa arenosa, de consistencia suave o muy suave, de sabor muy dulce y de color amarillo muy intenso; la segunda es un fruto de pulpa dura, de color amarillo claro y sólo se usa para hacer helados y postres.

1.3.4. Características de la planta

Es un frutal semi-caducifolio de amplia adaptabilidad, que se encuentra desde el nivel del mar hasta los 3000 msnm. Se trata de un árbol que alcanza 15 a 20 m de altura, 1.5 m de diámetro en la base y con diámetro de copa de 6 a 10 m. Se

desarrolla en climas tropicales y subtropicales; tolera lluvias temporales, más no precipitaciones constantes. Su hábitat natural es la sierra baja. El rango de temperatura donde se desarrolla comprende de 8 a 27°C y humedad de 80% a 90%, siendo el rango óptimo de 14 a 24°C. Se adapta a climas fríos constantes pero no tolera fuertes heladas, pudiendo morir con temperaturas menores de 5°C. Este frutal se puede adaptar fácilmente a diferentes clases de suelos, pero responde muy bien a la oxigenación radical que otorgan los suelos franco-arenosos. Se adapta muy bien a suelos arenosos y rocosos, de buen drenaje; tolera suelos moderadamente salinos y calcáreos, pero prefiere los suelos aluviales profundos con abundante materia orgánica.

El fruto es una baya esférica, cónica, ovoide o comprimida basalmente, de 4 a 17 cm de diámetro, con exocarpio o cáscara delgada de color verde o amarillo bronceado, generalmente rodeada de una coloración plateada en la parte apical. El endocarpio que envuelve a la semilla es delgado y marrón claro. El mesocarpio generalmente es de sabor y aroma muy agradable, color amarillo o anaranjado intenso y textura harinosa.

1.3.5. Estructura del fruto

Tabla 1.1. Composición proximal del fruto de lúcuma

Componente	%
Pulpa	69 a 82
Cáscara	7 a 15
Hollejo	2 a 3
Semilla	8 a 14

Fuente: Oscar Malca y Col.; U. Del Pacífico. Lima. 2000. pp. 10

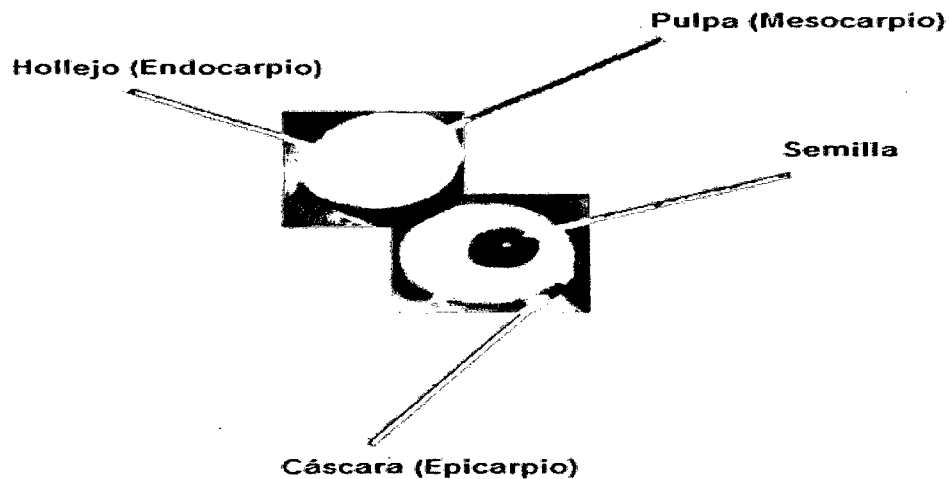


Figura 1.2. Partes de la fruta lúcuma

Fuente: Prolúcuma (Asociación de Productores de Lúcuma), Chalaco-Piura

1.3.6. Propiedades de la lúcuma

Hoy se sabe que la lúcuma posee gran cantidad de niacina, caroteno, hierro y fibra, sustancias claves para el correcto funcionamiento del organismo. Aunque pocos reconocen en ella uno de los más 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. 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 importante en esta singular especie, constituye un elemento imprescindible para el organismo humano dentro del grupo de los minerales. Sin el hierro necesario, se sabe que nuestro cuerpo se toma lento debido a 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.

Contribuye a incrementar el nivel de hemoglobina en la sangre. Rica en niacina o vitamina B3, estimula el buen funcionamiento del sistema nervioso. La lúcuma es un extraordinario energizante natural que nos brinda fuerza para desarrollar nuestras actividades con normalidad. Además, la lúcuma ha sido utilizada por generaciones para prevenir y tratar afecciones e irritaciones de la piel. Por todo ello, La lúcuma es una fruta medicinal contra enfermedades de la piel y contra la depresión. Además, posee un alto valor nutricional y es una gran fuente de carbohidratos, vitaminas y minerales.

1.3.7. Composición química y valor nutricional de lúcuma

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 100 g 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. Se dice incluso que la lúcuma es una fruta medicinal contra la depresión, por su alto contenido de vitaminas B1, y otras como la tiamina y la niacina. También es importante destacar que la lúcuma 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.

El siguiente cuadro muestra la participación porcentual de las diferentes partes del fruto en variedades sembradas en la costa peruana.

Tabla 1.2. Composición química de lúcumá en 100 g de fruta

Composición	Unidad	Valor pulpa fresca
Energía	Kcal	99.00
Agua	g	72.30
Proteínas	g	1.50
Grasa	g	0.50
Carbohidratos	g	25.00
Fibra	g	1.30
Ceniza	g	0.70
Calcio	mg	16.00
Fósforo	mg	26.00
Hierro	mg	0.40
Retinol	mg	355.00
Tiamina	mg	0.01
Riboflavina	mg	0.14
Niacina	mg	19.60
Ácido ascórbico	mg	2.20

Fuente: www.alimentacion.org.ar

1. 4. LA PLANTA Y SU CULTIVO

En el Perú la mayor parte de la producción se concentra en las zonas de Lima, Ayacucho, La Libertad, Cajamarca y Huancavelica su cultivo se acrecienta cada año debido a la extraordinaria demanda en Perú e internacionalmente. La COPROBA, organismo del gobierno del Perú, lo ha declarado uno de los productos bandera del Perú.

Dos intentos de introducir su cultivo en el sur de Estados Unidos han resultado infructuosos; en México y Hawái crece, aunque no se consume en gran escala. El árbol (Figura 1.3), prefiere temperaturas templadas, idealmente entre los 20 y los 22°C; no es resistente a las heladas. [12]

El suelo ideal es arenoso, de buen drenaje, rico en nutrientes y de pH neutro, pero tolera bien la salinidad y la alcalinidad.

No requiere irrigación constante, y soporta bien períodos breves de sequía así como temporadas muy húmedas, pero no resiste la anegación, ni las temperaturas muy altas, condiciones a las que está mejor adaptada la especie *Pouteria macrophylla*, en la que se ha intentado injertarlo infructuosamente.

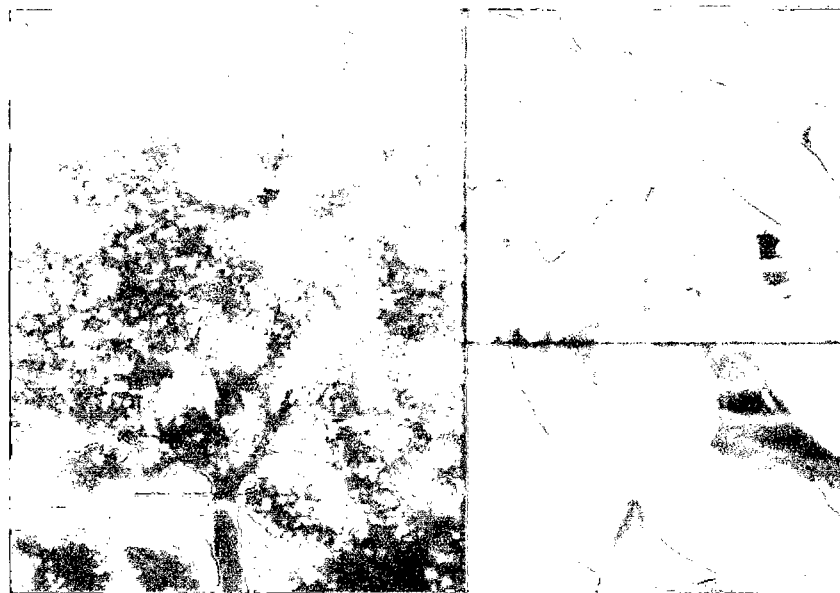


Figura 1.3. Planta y fruto de lúcuma

Fuente: http://fundamentosdemarketing-lucuma.blogspot.com/2012_05_01_archive.html

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.

- **Métodos de propagación:**

La propagación se hace por semilla y por injerto. La semilla debe ser sembrada después de quitarle la cáscara. La germinación empieza entre los 25 y 40 días máximos 90 días, no siendo uniforme, debido al diferente grado de maduración de semillas.

Es recomendable efectuar la siembra en bolsas con substrato, porque el prendimiento de las plantas trasplantadas a raíz desnuda es muy bajo. El injerto puede hacerse con las plantas en las bolsas, a los ocho meses de la siembra o en campo definitivo, cuando las plantas tengan el grosor de un lápiz. En este último caso se trasplantan en julio y se injerta en septiembre. El injerto utilizado es el terminal simple o el terminal de doble lengüeta.

- **Rendimiento:**

La siembra en campo definitivo se efectúa a distancia que varían de 5 a 6 m entre surcos y 4 a 5 m entre plantas. Un distanciamiento aconsejable sería el de 5 m y el de 6 m entre surcos por 4 m entre plantas. Cuando se trasplantan plantas injertadas, el injerto debe tener por lo menos 10 cm y seis hojas desarrolladas.

La lúcuma normalmente desarrolla la copa equilibrada, pero es necesario

darle podas de formación para lograr plantaciones uniformes. En el primer año se debe cortar el tallo principal a un metro del suelo, para promover la formación de brotes laterales, de los que se debe escoger tres a cuatro a diferente altura, para formar la base de la copa. En el segundo año se cortan las ramas primarias a 30 a 40 cm de su base, para abrir la copa y lograr un conjunto armonioso. Se debe eliminar los brotes que se encuentran en el interior de la planta, así como los chupones o mamones que crecen desde la base de la planta. A partir del tercer año las podas son solamente de limpieza.

La producción se inicia al cuarto año en plantas injertadas y al quinto o sexto año en plantas francas. La producción máxima se alcanza al décimo año, pudiendo llegar hasta 300 frutos por árbol, con 154 a 200 g por fruto.

La producción de fruta en una plantación a 6 por 5 m puede ser estimada como sigue:

Tabla 1.3. Rendimiento de lúcuma

Año	T/ha	Año	T/ha
1	-	6	5.0
2	-	7	8.0
3	-	8	12.0
4	1.0	9	16.0
5	2.5	10	18.0

Fuente: https://www.up.edu.pe/carrera/administracion/SiteAssets/Lists/JER_Jerarquia/EditForm/12lucuma.pdf

Tabla 1.4. Rendimiento nacional de lúcuma 1987–1999 (Kg/ha)

1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
6622	6625	7438	7438	7584	7522	7254	7486	7791	8768	8006	6618	8303

Fuente: Ministerio de Agricultura – Oficina de Información Agraria

1.4.1. Principales plagas y enfermedades

Las principales plagas que afectan al cultivo de la lúcuma son la mosca de la fruta, el gusano peludo, la queresa hemisférica y la mosca blanca. La mosca de la fruta (*anastrepa serpentina*), oviposita en los frutos cuando éstos se acercan a la maduración y sus lavas causan pudrición. Se controla mediante cebos a base de insecticida y de una sustancia atrayente (proteína hidrolizada). El gusano u oruga peluda (*Clutomulus spp*), cubierto por pelos grises, con mechones negros en la parte anterior del cuerpo, devora las hojas de la planta. Tiene un controlador biológico, la mosca parásita *Achaeroneura spp*. La queresa hemisférica (*Sassetla coffeae*) localiza su ataque en las nervaduras centrales de la hoja; cuando recién se presenta se controla con aplicaciones de desmanche con productos fosforados, pero cuando se ha extendido se debe aplicar aceite agrícola. La mosca blanca (*Aleutothrixus spp*) se localiza en la parte inferior de la hoja; la secreción de miel por el insecto atrae a las hormigas y favorece la formación del hongo de la fumagina. Entre las enfermedades, la única de importancia en las zonas donde no llueve es el oidium (*Oidium spp*) en que ataca principalmente las hojas tiernas, formando manchas blanquecinas y pulverulentas en ambos lados de la hoja. Se controla con fungicidas a partir de azufre o productos orgánicos.

1.4.2. Cosecha

En el Perú el lúcumo se puede encontrar floreciendo durante todo el año, pero presenta su mayor floración o “pico floral” en las siguientes épocas:

- En Costa: Abril – Setiembre.
- En Sierra: Abril – Octubre.

En la zona de Quillota de Chile, la mayor floración se da de diciembre a mayo. En el Perú los volúmenes de cosecha más significativos en la región costa se dan desde octubre hasta abril, y en la sierra, de diciembre a mayo. En Chile generalmente la cosecha se realiza desde abril a diciembre.

1.4.3. Post-cosecha

No están muy difundidas prácticas especiales de post-cosecha para lúcuma; no obstante, de manera general se sugiere mantener la fruta cosechada en la sombra (para evitar la formación de manchas y escaldaduras en la cascara).

Una vez cosechada el tiempo final de maduración puede reducirse si se almacena en un local cerrado y se cubre la fruta con costales o papeles. La fruta puede ser conservada sin deterioros de 2 a 3 semanas, si se almacena a temperaturas entre 15 y 18°C; las temperaturas por debajo de este rango afectan su calidad. En madurez de consumo la fruta puede ser refrigerada de 3 a 4 días sin afectar las características organolépticas.

1.4.4. Principales países productores

Los países productores de lúcuma son Colombia, Ecuador, Norte de Chile y Perú. El Perú el principal productor en el mundo con una participación de 88%. Las principales regiones de producción en el ámbito nacional son: Lima que concentra el 68% de la producción y en menor escala Piura, Cajamarca, La Libertad, Ica, Ayacucho, Ancash, Moquegua y Huancavelica.

1.4.5. Producción de lúcuma en el Perú

Nuestro país es el líder en la producción de lúcuma, se especifica en base a dos tipos de lúcuma una suave y otra dura, con una producción total de 5.8 miles de TM en el año 2002, destinado principalmente a la agroindustria para la producción de harina y pulpa de lúcuma. Para el mercado internacional se destina aproximadamente el 1% de la producción total de lúcuma y es solo para pedidos y muestras. A nivel local se abastece principalmente para la producción de helados de la empresa Nestlé (Barrena y col., 2009).

**Tabla 1.5. Producción de la lúcuma según los departamentos en el año
2005-2006**

Departamento	Lúcuma (Tn/Año)
Lima	1520
Ayacucho	326
Cajamarca	270
Piura	245
Huancavelica	110
Lambayeque	95
Huánuco	75
Ancash	71
Apurímac	70
La Libertad	63
Junín	42
Arequipa	37
Loreto	33
Cusco	23
Moquegua	13
Ica	9
Tacna	8
Pasco	-
San Martín	-

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos45/produccion-lucuma-peru/produccion-lucuma-peru2.shtml>

1.4.6. Visión de desarrollo competitivo de la lúcuma

La estrategia para aumentar la competitividad de la lúcuma debería enfocarse en la integración de las empresas líderes de la industria alimenticia local que cuenten con mercados internacionales, como por ejemplo las asociaciones de productores de lúcuma (Prolúcuma), la INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria) y el PROMPEX han desarrollado relaciones de negocio de exportación sostenible con alto valor agregado.

1.4.7. Proceso de producción:

- **Requerimientos de luz solar:** Los frutos se desarrollan en diversas latitudes, desde el Ecuador hasta los 33°S en Chile, de modo que la duración de luz solar no parece ser importante.
- **Precipitación:** La planta se despliega bien en áreas sujetas a sequías ocasionales y soporta bien las lluvias pero no los climas húmedos por largo tiempo.
- **Altitud:** La más común en los valles interandinos es de 1500 a 3000 msnm., la lúcuma crece y produce frutos de buena calidad en Perú en las "tierras bajas" y en Chile a nivel del mar.
- **Temperatura:** La planta parece requerir climas fríos, pero muere a temperatura menor a – 5°C, semejante al limón.
- **Tipos de suelo:** Necesita suelos bien drenados, con cierto porcentaje de salinidad.

- **Cosecha:** Puede alcanzar un peso de 1 kg por fruta, y un árbol puede producir aproximadamente 500 frutos durante un año. A diferencia de otros cultivos, la lúcuma es un árbol cuya producción es continua, durante el año e indiferente a las épocas de sequía.

1. 5. 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, raviolos, bombones, pudines, galletas, licor de lúcuma, pastas, comidas y conservas.

La lúcuma se consume ya muy madura, varios días después de su caída; debe conservarse envuelta en paja o material similar durante este período. Tiene un sabor intenso que recuerda al jarabe de arce aunque según muchos, es muy superior, y se emplea cocida en: tortas, pasteles, helados, batidos, pudines y otros postres. Su consumo como fruta fresca es más raro por su peculiar retrogusto, aunque este es menos perceptible en los cultivares de mayor calidad. Su utilización en postres, helados y dulces está bastante extendido en Perú desde tiempos precolombinos, siendo considerada por los peruanos fruta nacional y producto de bandera.

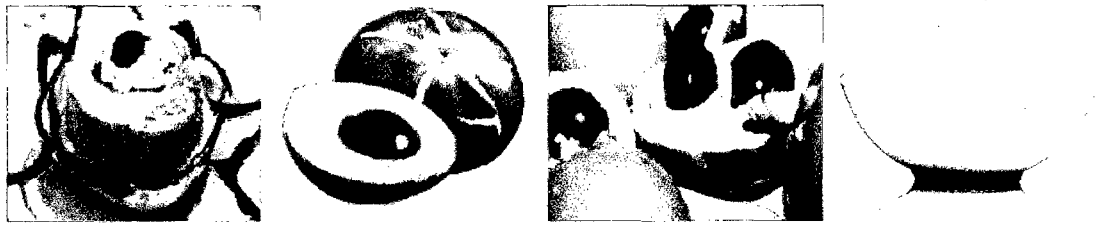


Figura 1.4. Usos diversos de la lúcoma

Fuente: http://fundamentosdemarketing-lucuma.blogspot.com/2012/05/01_archive.html

Por su alto contenido en almidón, la pulpa se seca en ocasiones para su conservación; rinde una harina no perecedera, muy dulce y nutritiva, que concentra el hierro, betacaroteno y niacina contenidos en la fruta. Puede también congelarse por períodos prolongados. La madera es liviana pero compacta, y se emplea para usos industriales y en construcción.

1. 6. VARIABLES

1.6.1. Variable Independiente:

- Temperatura de secado
- Masa de pulpa fresca

1.6.2. Variable Dependiente

- Humedad del producto

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA

MATERIA PRIMA

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA:

2. 1.1. Pulpa fresca:

Una vez trozada la lúcuma, se realiza el pulpeado y refinado para obtener una consistencia homogénea de 15-18°Brix, luego es estandarizado (grado de acidez, conservantes, y demás), seguidamente se realiza el prensado donde se regula la cantidad de líquido y azúcar. Una vez realizado todos estos procesos se procede a congelar la pulpa en cámaras de congelamiento por el sistema de túnel por aire forzado, logrando una temperatura estable. Se empaca en bolsas de polietileno y cajas de cartón corrugado para su posterior embarque. La vida útil es de 24 meses en almacenamiento a temperaturas de -18°. La lúcuma fresca llega de las diferentes zonas de producción siendo distribuida principalmente a los mercados mayoristas, minoristas y supermercados. La empresa Gloria utiliza fruta fresca para la producción de yogurt.

2. 1.2. Harina de lúcuma:

La harina o polvo de lúcuma es el resultado de deshidratar la pulpa de lúcuma hasta una humedad menor de 8.5% y molerla muy finamente (menor a 0.15 mm). 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. Para obtener la harina se realiza a través de un proceso de deshidratación para después ser molido. Una vez que se tiene la harina, ésta es envasada y almacenada para su distribución. La harina de lúcuma puede ser almacenada por años sin perder sus características originales.

Las industrias heladeras y panificadoras son las principales demandantes de

harina de lúcuma, figurando la empresa Nestlé como el mayor consumidor local, siendo abastecido por la Asociación de Productores de Lúcuma y productores de la costa y sierra. Las empresas heladeras artesanales e industriales utilizan pulpa y harina respectivamente.

Tabla 2.1. El valor nutricional de 100 g de pulpa fresca y de harina de lúcuma

Componente	Unidad	Pulpa fresca	Harina
Agua	g	72.30	9.30
Valor energético	Cal	99.00	329.00
Proteínas	g	1.50	4.00
Fibra	g	1.30	2.30
Lípidos	g	0.50	2.40
Cenizas	g	0.70	2.30
Calcio	g	16.00	92.00
Fósforo	mg	26.00	186.00
Fierro	mg	0.40	4.60
Caroteno	mg	2.30	0.00
Tiamina	mg	0.01	0.20
Niacina	mg	1.96	-
Ácido ascórbico	mg	2.20	11.60
Riboflavina	mg	0.14	0.30

Fuente: Inkanatura World Peru Export SAC., 2013

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.

2.3. PROPIEDADES

La lúcuma es recomendada contra la depresión, por su alto contenido de niacina o vitamina B3, que facilita el metabolismo de las proteínas y el proceso de producir energía.

Recientes estudios confirman que esta vitamina ayuda a reducir el nivel de colesterol y triglicéridos en la sangre, por lo que es de vital importancia para el

tratamiento de innumerables afecciones, especialmente en la obesidad y cardiovasculares.

El caroteno puede reducir las probabilidades de ataques cardíacos y aumenta la eficiencia del sistema inmunológico.

2.4. CADENA PRODUCTIVA DE LA LÚCUMA:

2.4.1. Abastecimiento de frutas

La lúcuma fresca llega de las diferentes zonas de producción siendo distribuida principalmente a los mercados mayoristas, minoristas y supermercados. La empresa Gloria utiliza fruta fresca para la producción de yogurt.

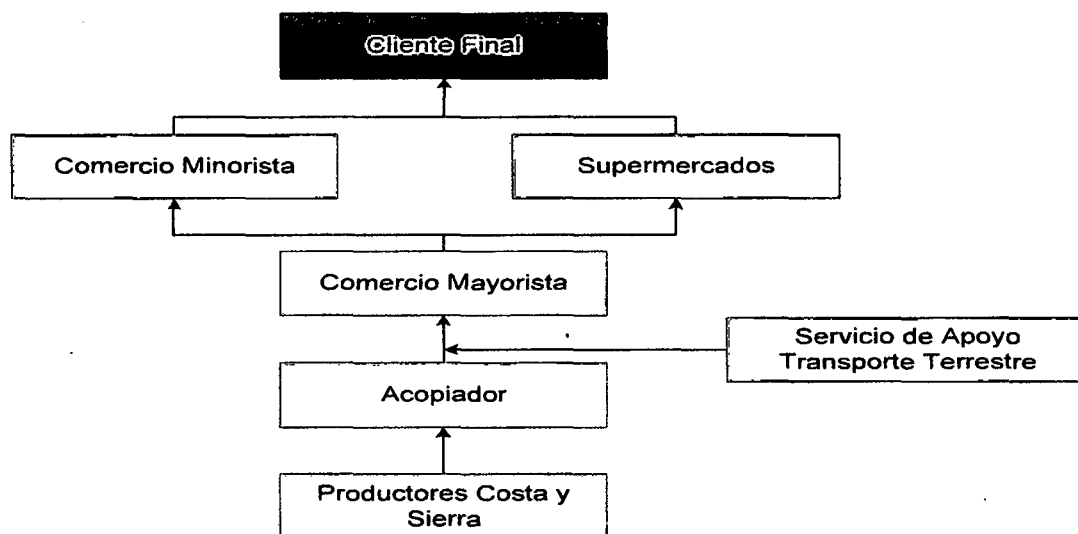


Figura 2.1. Diagrama de bloques de abastecimiento de frutas

Fuente: <http://mincetur.gob.pe/comercio/otros/penx/pdfs/Lucuma.pdf>

2.4.2. Abastecimiento local de pulpa y harina de lúcuma

Las industrias heladeras y panificadoras son las principales demandantes de harina de lúcuma, figurando la empresa Nestlé como el mayor consumidor local, siendo abastecido por la Asociación de Productores de Lúcuma y productores de la costa y sierra. Las empresas heladeras artesanales e industriales utilizan pulpa y harina respectivamente.

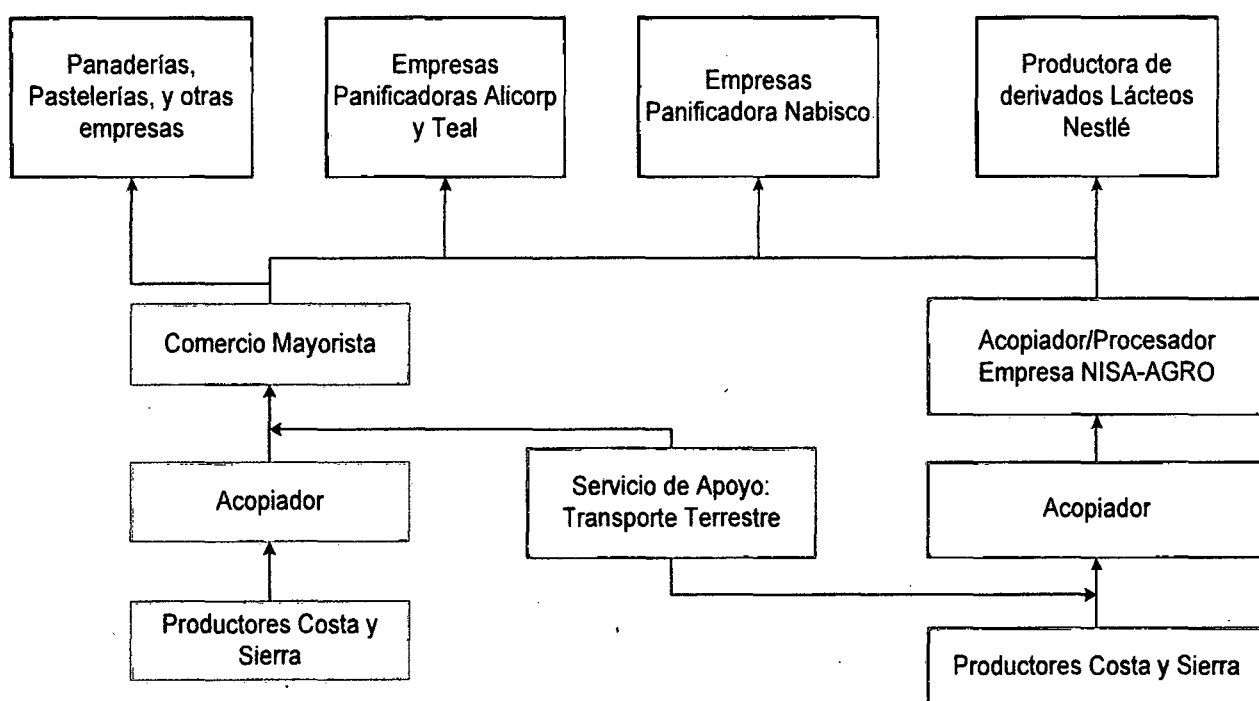


Figura 2.2. Diagrama de bloques de abastecimiento local de pulpa y harina de lúcuma

Fuente: <http://mincetur.gob.pe/comercio/otros/pnx/pdfs/Lucuma.pdf>

2.5. EXPORTACIÓN DE LOS DERIVADOS DE LA LÚCUMA

La lúcuma es principalmente exportada a países como Chile, Estados Unidos, Francia, Canadá, Alemania, Países Bajos y Australia.

El año de mayor volumen de exportación fue el 2003 donde las exportaciones de harina de lúcuma fueron cerca de 5 TM equivalente a US\$ 18 mil, y un precio de US\$ 3.68 por kg el principal destino de estas exportaciones fueron Estados Unidos y Chile. Sin embargo, si bien las exportaciones del año 2005 llegaron a 2.6 TM equivalente a US\$ 16.9 mil, con un precio de US\$ 6.49 superando al precio del 2003. Esto originado por la mayor demanda y diversificación de exportaciones a nuevos países como Australia.

Cabe explicar que la caída registrada en el año 2004 se debió a una fuerte reducción de la demanda de Estados Unidos (-86.23%) y Chile (-90%) principales consumidores de harina de lúcuma. A pesar que la demanda de Chile se recuperó en el año 2005, no sucedió lo mismo en Estados Unidos donde siguió cayendo 99%.

En el año 2006 se ha mostrado una dinámica exportadora interesante debido a que esta se incrementó en 65% (considerando lúcuma y derivados) superando el crecimiento promedio de las exportaciones agrícolas no tradicionales (20.1%) y sumando los US\$ 123 mil.

Según presentaciones, del total exportado, el 64.6% correspondió a pulpa de lúcuma, 17.4% a harina de lúcuma y 12.2% a lúcuma fresca. El restante 5.6% correspondió a envíos de lúcuma en dulce, congelada y otras presentaciones. Claramente, los envíos de lúcuma no se concentran en la fruta en sí sino en derivados que ofrezcan la ventaja de mayor durabilidad y almacenamiento, es decir en las siguientes presentaciones:

- **Harina de lúcuma:** Es uno de los productos que se exporta con mayor regularidad, habiendo representado en el año 2006 el 17.4% del valor total de envíos de lúcuma y derivados. Los principales destinos fueron EE.UU., Reino Unido y Canadá.
- **Pulpa de lúcuma:** Sus envíos representaron el 65% del valor total exportado, Los principales destinos de dicho producto fueron EE.UU., Chile y Líbano (US\$ 2.90 por Kg. frente a los US\$ 3.99 por Kg. de 2005).

Lúcuma Fresca. Las exportaciones del rubro fueron las más dinámicas respecto al año 2003. El principal destino de exportación fue Francia (99.3% del total).

Tabla 2.2. Ventajas y valor nutricional de los derivados en 100 g

	Pulpa fresca	Harina de lúcuma
Ventajas	<p>Pueda ser transportada a largas distancias.</p> <p>Congelada puede ser almacenada por largo tiempo sin perder sus características originales.</p>	<p>Puede ser transportada a largas distancias.</p> <p>Puede ser almacenada por años sin perder sus características originales.</p>
Valor nutricional en 100 g	<p>99 calorías</p> <p>1.5 gramos de proteínas</p> <p>1.3 gramos de fibras</p> <p>26 mg de fósforo</p> <p>16 mg de calcio</p> <p>0.4 mg de hierro</p> <p>72.3 gramos de agua</p> <p>0.5 gramos de lípidos</p> <p>0.7 gramos de ceniza</p> <p>0.01 mg de tiamina</p> <p>2.2 mg de ácido ascórbico</p> <p>0.14 mg de riboflavina</p> <p>1.96 mg de niacina</p> <p>2.3 mg caroteno</p>	<p>329 calorías</p> <p>4 gramos de proteínas</p> <p>2.3 gramos de fibras</p> <p>186 mg de fósforo</p> <p>92 mg de calcio</p> <p>4.6 mg de hierro</p> <p>9.3 gramos de agua</p> <p>2.4 gramos de lípidos</p> <p>2.3 gramos de ceniza</p> <p>0.2 mg de tiamina</p> <p>11.6 mg de ácido ascórbico</p> <p>0.3 mg de riboflavina</p>

Fuente: Perfil de mercado y competitividad exportadora de la lúcuma

2.5.1. Exportaciones de pulpa de fruta

Tabla 2.3. Exportación de pulpa de harina (FOB US\$ miles)

Año	USA	Chile	Japón	Italia
2009	52	-	-	-
2010	112	64	8	4
2011	29	35	19	-

Fuente: COMEX

2.5.2. Exportaciones de harina de lúcuma

En los primeros 6 meses del año 2010, la exportación de harina de lúcuma ha crecido en un 97%, generando un ingreso económico aproximado de \$ 1'048,000, con relación al año 2009. Según informe de COMEX el monto exportado es equivalente a lo que se registró en el 2008, llegando a alcanzar los 163,000 dólares. Entre enero y mayo del año 2011, las exportaciones de lúcuma alcanzaron los 216,656 dólares. A pesar de estas cifras alentadoras el mercado de la lúcuma puede ser mejor aprovechado dentro del mercado europeo y asiático.

2.5.3. Equivalente de proporción de harina de lúcuma

Un kilo de Lúcuma fresca es equivalente a 4 cucharadas de harina de lúcuma. Cuando se rehidrata la harina de lúcuma, se mezcla con el doble de agua fría (proporción 1:2) por 2 ó 3 horas, obteniéndose una pasta que es utilizada como insumo para la preparación de diversos postres.

2.6. OPORTUNIDAD DE LA HARINA DE LÚCUMA EN EL MERCADO DE HARINA DE FRUTAS

Este producto es elaborada a partir de Lúcuma de Seda obtenida en los suelos de los socios de Prolúcuma., ya que este tipo de lúcuma facilita su proceso de molido en comparación con otras frutas cuya consistencia implica periodos más largos de tratado para su posterior molido.

La fruta es cosechada madura y enviada a la planta procesadora donde es seleccionada, desinfectada, pelada y luego deshidratada por el sistema de túnel de aire caliente forzado. Donde todas las labores de cosecha, post-cosecha y procesado son realizadas bajo estricto control de calidad e higiene. La harina de lúcuma puede resistir aproximadamente 12 meses, en condiciones adecuadas de almacenamiento.

2.7. TENDENCIAS DEL CONSUMO INDUSTRIAL DE LÚCUMA

Las tendencias que se dan en demanda de alimentos, tiene un impacto directo sobre la demanda de frutas procesadas debido a la preferencia del consumidor hacia los alimentos confiables y saludables con alto contenido de vitaminas y oxidantes naturales, en consecuencia al creciente interés por los productos orgánicos, alimentos étnicos, fruto silvestres y exóticos.

Actualmente la relaciones entre los proveedores de ingredientes y los productores industriales es favorable debido a que no solo buscan comprar insumos de sus proveedores sino también intercambiar conocimientos y experiencias para mejorar el tiempo de las entregas. Para grandes volúmenes de pedidos, las frutas de consumo industrial son importadas directamente por sus mismos productores, en cambio para menores volúmenes los productores industriales emplean importadores, agentes

especializados o procesadores. Los principales usos de las frutas son para la industria de bebidas, conservas, panificadora y láctea.

Entre los principales motivos por los que los consumidores compran frutas procesadas es que muchos de estos han manifestado su preocupación por la salud y ha despertado conciencia del cuidado del medio ambiente. Asimismo, el consumidor industrial de frutas procesadas busca la mejora de la calidad e higiene del procesamiento para poder adquirir buenos insumos de frutas para la preparación de helados, postres, jugos o para el reprocesamiento y reexportación.

Al igual que en todo el mundo en Norteamérica, los gustos del consumidor se ha dirigido hacia una alimentación más sana y balanceada. Las pulpas de frutas de consumo industrial son importadas por los mismos productores o mediante brokers, donde existe un gran interés por las pulpas de frutas provenientes de los países en desarrollo.

2.8. DEMANDA NACIONAL E INTERNACIONAL DE LA HARINA DE LÚCUMA

2.8.1. Demanda nacional

Los principales compradores de harina de lúcuma son la industria heladera que demanda más del 50% de la producción dejando el restante a la industria panificadora y muy poca para la industria del yogurt cabe mencionar que en los últimos años se está incrementando la demanda de harina de lúcuma, debido al crecimiento de la producción y consumo de yogurt.

- **Industria Heladera:** Las empresas heladeras demandan la mayor cantidad de la producción de lúcuma, las fábricas artesanales trabajan

con la pulpa y las industrias con la harina. El principal demandante de Nestle-D'Onofrio quien consume aproximadamente 70%, Lamborghini 20% y empresas menores 10% restantes.

El mayor consumo de harina de lúcuma por parte de las heladerías se da entre los meses de Octubre a Abril (temporada de verano), mostrándose una disminución de la demanda tanto de helados de la harina de lúcuma en los demás meses del año.

- **Industria del yogurt:** Las empresas productoras de yogurt, han estado utilizando harina de lúcuma artesanal en cantidades pequeñas, utilizándola sólo para diversificar su producción, por lo que se demandan todavía cantidades pequeñas de yogurt de lúcuma. El principal problema por el que atraviesan las empresas productoras de yogurt es que la harina ofertada actualmente no reúne las condiciones microbiológicas necesarias para la elaboración de yogurt, además de adulteraciones que esta presenta.
- **Industria panificadora:** El mayor consumo del producto por parte de las empresas sucede en época escolar sobre todo en la temporada de invierno (Mayo-Septiembre).

Entre las principales empresas tenemos ALICORP S.A. YNABISCOS.A.; además de un gran número de Panaderías y Pastelerías.

Se utiliza la harina de lúcuma en la elaboración de productos de repostería como galletas, postres, tortas, etc.

2.8.2. Demanda internacional

A nivel internacional no existe aranceles específicos que faciliten al análisis de la evolución de los subproductos de la lúcuma en el mercado, pero se puede inferir su comportamiento tomando las referencias que se hacen de los productos exóticos, en el caso de la pulpa y lúcuma fresca, en harina o fruta en polvo para el caso de la harina de lúcuma y en la elaboración de pastas, purés o helados para los productos elaborados de lúcuma.

Es así como se aprecia que la importación de dichos rubros ha crecido aproximadamente una tasa promedio anual de 11% entre 1999-2004 (en importación de harinas o frutas en polvo, la tasa supera el 20%), reafirmando la tendencia mundial a consumir productos frescos o elaborados a base de frutas o productos naturales, de la que ya hemos hablado, más aún en el caso de los exóticos por tener propiedades nutritivas adecuadas y que además se puede encontrarlas en el mercado internacional durante todo el año.

En el caso de frutas exóticas preparadas o elaboradas la mayor importación y dinámica la presentan los países europeos como Francia, Alemania e Inglaterra; mientras que en el caso de frutas exóticas frescas o congeladas la mayor dinámica tiene la importación de EE.UU. seguido de Rusia y países europeos.

2.9. PROBLEMÁTICA QUE AFRONTA LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE LÚCUMA

Prolúcuma, con apoyo de Prompex, ha participado en diferentes ferias internacionales de alimentos pero aún no es suficiente; se requiere contar con un mayor apoyo de las autoridades. [14]

Cuando se procesa, la lúcuma cortada toma un color oscuro como consecuencia de la oxidación natural, y por lo tanto la harina resulta con un color poco atractivo que desmerece todas las bondades del producto a nivel internacional.

En el país, se han identificado alrededor de 70 variedades. Aproximadamente, 15 a 20 pertenecen a la categoría palo y el resto a seda. La ignorancia de los propietarios de todos los viveros los lleva a no advertir a los compradores de esta gran variedad. De esta forma, no se puede elaborar una harina homogénea, ni tampoco trabajar de forma clara en el mejoramiento del proceso.

El procesamiento de harina de lúcuma en muchos casos no lo hace una misma empresa, sino que pasa a través de varios agentes de la cadena: el acopiador generalmente selecciona y seca la lúcuma en trozos, y la vende a otro que será quien la muele, y así sucesivamente hasta llegar a los exportadores o compradores en Lima.

2.10. SECADO

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa.

El estudio del secado es de trascendental importancia en Ingeniería Química, debido a que es una operación unitaria básica, para el manejo de productos sólidos. Entre las operaciones unitarias, el secado, en su forma más primitiva es la primera de todas, pues el hombre desde que fue nómada, secó frutos utilizando la

energía solar, no obstante, formas más elaboradas del secado han surgido. Aun así, el secado por energía solar, es una forma alternativa, utilizada en procesos de gran volumen y poca velocidad como el secado de granos, sobre todo de café.

En términos generales, el término secado se refiere a la eliminación de líquidos, en cantidades grandes, de un material sólido, por medio de vapor arrastrado por un gas. El líquido a remover, es generalmente agua, no obstante hay otros.

Existen procesos químicos industriales importantes en los cuales conviene el secado, entre otros, está el secado de la sal, la cual es pasada, una vez cristalizada por un túnel de aire, para eliminar el exceso de humedad en la misma, también se puede mencionar el secado del carbón, de productos alimenticios, de arena, entre otros.

Es usual el uso del secado como medio de preservación de materiales biológicos, en ocasiones, se llega hasta el límite de deshidratación, para disminuir la actividad bacteriana o microbiológica en general. Esto se debe, a que la actividad microbiológica cesa a niveles de humedad menores del 10%.

De acuerdo con el tipo de proceso de secado, se puede separar el proceso, en proceso continuo y proceso batch. En general, se comprende por secado continuo, el secado en procesos en los que no hay acumulación de sólidos en un recipiente cerrado. Obviamente, el proceso batch, es el proceso en el cual se alimenta un secador y se termina la operación en el momento en que se extrae todo el material alimentado.

De acuerdo con las condiciones en que se realiza el secado, pueden mencionarse los secadores en los cuales el calor se añade directamente a los materiales, por medio de aire caliente y a presión atmosférica. Otro método de secado consiste el secado al vacío, en el cual se trabajan materiales termolábiles. Finalmente está el secado en la liofilización, el agua se sublima directamente del material

congelado.

Se entiende que es seguro un nivel de humedad por debajo del cual se reduce la actividad respiratoria de los granos y se dificulta el ataque de insectos y hongos. Dicho nivel varia con los distintos tipos de granos, pero para las condiciones brasileñas y los granos más comunes, abarca una gama entre 10 y 14% de humedad expresada sobre base húmeda.

Se han secado productos agrícolas desde los albores de la civilización. Al comienzo no había preocupación por el almacenamiento, y la disminución de la humedad se producía en el campo mismo. Era un "secado" que se realizaba en las condiciones naturales del ambiente, dictadas principalmente por la energía solar incidente y el movimiento del aire, es decir por el viento. Más adelante se intentó controlar parcialmente las condiciones del secado, y éste pasó a realizarse en hornos especiales o en recintos calentados. Recién entre la Primera y Segunda Guerras Mundiales se construyeron diversas unidades experimentales de secado. En aquella época sólo funcionaban algunas unidades comerciales, las que se destinaban, fundamentalmente, a la deshidratación de frutas, verduras, heno y al secado de semillas de maíz.

Después de la Segunda Guerra Mundial se hicieron comunes las grandes unidades de secado de granos comerciales, y en las haciendas se empezó a secar grandes cantidades de ellos.

Este aumento en la demanda de secado fue consecuencia del desarrollo de los métodos mecánicos de cosecha. En América Latina, una parte importante de la producción de granos se seca todavía en forma primitiva, es decir, se seca en el campo durante largos períodos. El uso de esta técnica acarrea elevadas pérdidas de producción, puesto que los granos quedan expuestos, durante lapsos prolongados, a

condiciones adversas y a la acción de depredadores.

Hay consenso, entre los técnicos del sector almacenados de que el secado de granos a bajas temperaturas presenta buenas perspectivas de aplicación en el país, principalmente ante la necesidad de ampliar la capacidad de almacenamiento de las haciendas, para lo cual esta tecnología reviste especial interés económico.

El secado a bajas temperaturas viene atrayendo, además, al sector productor de semillas, puesto que con tal sistema se puede mantener la calidad del producto cosechado mejor que con el uso de secadores que funcionan a temperaturas elevadas.

Al llegar a la madurez fisiológica, los productos agrícolas y en especial los granos, presentan en la mayoría de los casos, un contenido máximo de materia seca. Sería recomendable cosechar los granos en ese punto de desarrollo, desde el punto de vista del rendimiento máximo de la producción. No obstante, varios factores limitan esa posibilidad, destacándose entre ellos el contenido de humedad de los granos.

Al comienzo de la etapa de madurez fisiológica, los granos presentan, además del contenido máximo de materia seca, un elevado porcentaje de agua. Esta condición acarrea algunas dificultades, pues los granos no resisten los procedimientos mecánicos de recolección y demás operaciones de tratamiento. Es preciso esperar, entonces, que la cosecha se realice "tan pronto" como los granos lo soporten. Esta técnica ofrece algunas ventajas, como son: un mayor porcentaje de materia seca (como ya se mencionó), menor contaminación del producto en el campo, menor pérdida por ataque de depredadores, mayor porcentaje de germinación y vigor y otras.

El mayor inconveniente de la cosecha de productos húmedos es la necesidad de reducir su contenido de humedad a niveles seguros para su

almacenamiento, siendo un proceso que exige un gran consumo de energía. En general el secado artificial de granos es una técnica poco difundida en América Latina. En las regiones en que se la conoce, normalmente está mal utilizada. En consecuencia, hay elevadas pérdidas de granos en esos países.

2. 10.1. TIPOS DE SECADORES

Desecación con aire caliente:

2. 10.2.1. Secador de dos plantas

Este secadero consiste básicamente en un edificio de dos plantas. En la planta baja se sitúa un horno o quemador y en ella el aire caliente y los productos de la combustión ascienden, por convección natural o forzada, y penetran a través del piso enrejillado de la segunda planta, sobre el que se esparce el producto húmedo en forma de capa uniforme. El aire húmedo se elimina por una chimenea situada en el piso superior. Es preciso rastrillar o voltear el producto regularmente. Los principales inconvenientes son los largos tiempos de desecación y la falta de control de las condiciones de desecación. Este tipo de secaderos se emplea principalmente para desecar lúpulo, rodajas de manzana y malta.

2.10.1.2. Secador de cabina, bandejas o compartimentos

Consiste en una cabina aislada provista interiormente de un ventilador para circular el aire a través de un calentador; el aire caliente sale por una rejilla de láminas ajustables y es dirigido bien horizontalmente entre bandejas cargadas de alimento o bien verticalmente a través de las bandejas perforadas y el alimento. El secadero

dispone de reguladores para controlar la velocidad de admisión de aire fresco y la cantidad deseada de aire de recirculación. Resultan relativamente baratos de construcción y de mantenimiento y son muy flexibles. Se utilizan principalmente para desecar frutas y verduras.

2.10.1.3. Secador de túnel

Permite desecar frutas y verduras de forma semicontinua con una gran capacidad de producción. Consiste en un túnel que puede tener hasta unos 24 metros de longitud con una sección transversal rectangular o cuadrada de unos 2x2 metros. El producto húmedo se extiende en capas uniformes sobre bandejas de listones de madera o malla metálica. Las bandejas se apilan en carretillas o vagonetas dejando espacios entre las bandejas para que pase el aire de desecación. Las carretillas se introducen de una en una, a intervalos adecuados en el túnel de desecación. El aire se mueve mediante ventiladores que lo hacen pasar a través de calentadores y luego fluye horizontalmente entre las bandejas, aunque también se produce cierto flujo a través de las mismas.

Los secaderos de túnel se clasifican de acuerdo al sistema utilizado:

- Sistema concurrente
- Sistema contracorriente
- Sistema de flujo transversal
- Túnel simple o de salida de aire central

2.10.1.4. Secador de transportador

El principio de este tipo de secadero es similar al túnel de desecación pero el producto húmedo es conducido a través del sistema sobre una cinta transportadora que sustituye a las carretillas. Los secaderos de transportador se utilizan en la desecación de frutas y verduras picadas de diferentes clases.

2.10.1.5. Secador de tolva

Consiste en una caja con un falso fondo o base de malla metálica. Un ventilador hace pasar el aire sobre un calentador y el aire caliente seguidamente asciende a través del producto a velocidad relativamente baja. Este tipo de secadero se aplica principalmente al “acabado” de productos vegetales desecados en otros tipos de secadero, reduciendo el contenido de humedad desde alrededor del 15% hasta un 3% aproximadamente.

2.10.1.6. Secador de lecho fluidizado

El aire caliente es forzado a través de un lecho de sólidos de forma tal que los sólidos queden suspendidos en el aire. El aire caliente actúa tanto como medio fluidizante como de desecación. Pueden operar de forma discontinua o continua. Se ha aplicado bien comercialmente o a escala experimental a una diversidad de productos con éxito variable, como guisantes, alubias, zanahorias, cebollas, gránulos de patata, cubos de carne, harina, cacao, café, sal y azúcar. También se utilizan lechos para aglomerar y revestir polvos secos.

2.10.1.7. Secador neumático

El producto húmedo se mantiene en suspensión en una corriente de aire caliente, que lo transporta a través del sistema de desecación. Es como una desecación en lecho fluidizado empleando velocidades de aire más altas.

El producto de alimentación se introduce en una fuerte corriente de aire caliente y los sólidos son transportados por la corriente de aire a través de conductos de suficiente longitud para que el tiempo de residencia sea adecuado. Los secaderos neumáticos se han usado en la manipulación de muchos productos alimenticios como granos de cereales y harinas, patatas granuladas, cubos de carne y como secaderos secundarios de la leche en polvo y ovoproductos.

2.10.1.8. Secador rotatorio

El producto húmedo se hace girar entre una cámara cilíndrica por la que pasa el aire caliente, mientras que el producto se mantiene en agitación. En algunos casos también se calienta la pared de la cámara o se instalan tubos calentadores en el interior del cilindro. La cámara cilíndrica de acero se monta sobre rodillos quedando ligeramente inclinada. La superficie interior de la cámara se haya provista de aletas batidoras que remueven el producto al girar la cámara, haciendo que el producto caiga a través de la corriente de aire caliente que pasa por el cilindro. El aire puede fluir concurrentemente o a contracorriente respecto a la dirección del movimiento de los sólidos. Este tipo de secadero solo ha encontrado aplicación limitada en la industria de los alimentos, habiéndose empleado por ejemplo en la desecación de comprimidos de carne, azúcar granulado y en el tratamiento de las semillas de cacao.

2.10.1.9. Secador atomizador

Se usa profusamente en la industria de los alimentos para desecar soluciones y papillas. El producto se introduce en una cámara de desecación en forma de fina lluvia entrando así en íntimo contacto con una corriente de aire caliente, lo que permite una desecación muy rápida obteniéndose un polvo seco. Las principales características de este tipo de desecación son los tiempos de desecación muy cortos y las temperaturas relativamente bajas que alcanza el producto. Los componentes esenciales del secadero atomizador son: sistema de calentamiento y circulación del aire, el atomizador, la cámara de desecación y el sistema de recuperación del producto. Su uso es en leche descremada y entera, suero, mezcla para fabricar helados, mantequilla, queso, alimentos para bebés basados en leche, café, té, huevos, zumos de frutas y verduras, proteínas comestibles, extractos de carne y productos derivados del trigo y otros cereales.

2. 10.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Al igual que todo proceso de transferencia, el motor principal de la transferencia es un gradiente. Por ejemplo, en la transferencia de momentum, el gradiente era de presión (o altura, que induce una presión), para la transferencia de calor, era un gradiente térmico, en este caso, es un gradiente de concentración, más específicamente para secado de concentración de líquido en la corriente de vapor y el sólido, que se entiende como humedad.

Cuando se coloca en un secador un sólido, debido a la gran cantidad de aire que se hace fluir, a pesar que el aire se humedece, su variación de humedad no es considerable, por ende se considera como una humedad constante. El comportamiento

de la humedad de un sólido con respecto del tiempo es decreciente asintótico, este valor límite al cual tiende la humedad luego de un tiempo suficientemente largo, supuesto infinito, se considera como su humedad al equilibrio, que es el contenido de humedad mínimo para una humedad de aire determinada. Este valor se expresa en lb de H₂O por lb de sólido seco, o bien Kg.

Este tipo de datos suele estar tabulado en manuales específicos para cada material, no obstante, para materiales biológicos, estos datos suelen tomarse experimentalmente, lo cual no supone una técnica en exceso complicada, sino todo lo contrario, intuitiva.

A toda humedad que sobrepase la humedad en equilibrio, se le considera la humedad libre, que es la que obviamente puede ser removida aún del sólido. Nótese que esta temperatura de equilibrio, depende únicamente o casi solo de las propiedades del gas, es decir, humedad relativa, temperaturas de bulbo húmedo y seco, entalpía, etc.

Se denomina humedad a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad. La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura, por ejemplo, una humedad relativa del 70% quiere decir que de la totalidad de vapor de agua (el 100%) que podría contener el aire a esta temperatura, solo tiene el 70%.

2. 10.2.1. Formas de enlace de la humedad con el material

El mecanismo del proceso de secado depende considerablemente de la

forma de enlace de la humedad con el material: cuanto más sólido es dicho enlace, tanto más difícil transcurre el secado. Durante el secado el enlace de la humedad con el material se altera.

Las formas de enlace de la humedad con el material se clasifican en: químico, físico-químico y físico- mecánico. [9]

La humedad ligada químicamente es la que se une con mayor solidez al material en determinadas proporciones (estequiométricas) y puede eliminarse sólo calentando el material hasta altas temperaturas o como resultado de una reacción química. Esta humedad no puede ser eliminada del material por secado.

Durante el secado se elimina, como regla, sólo la humedad enlazada con el material en forma físico-química y mecánica. La más fácil de eliminar resulta la enlazada mecánicamente que a su vez se subdivide en: humedad de los macrocapilares y microcapilares (capilares con el radio medio mayor y menor de 10-5 cm). Los macrocapilares se llenan de humedad durante el contacto directo de ésta con el material, mientras que en los microcapilares la humedad penetra tanto por contacto directo, como mediante la adsorción de la misma en el medio ambiente. La humedad de los macrocapilares se elimina con facilidad no sólo por secado, sino que también empleando métodos mecánicos.

El enlace físico-químico une dos tipos de humedad que difieren por la solidez del enlace con el material: la humedad ligada osmóticamente y por adsorción.

La primera llamada también humedad de hinchamiento, se encuentra dentro de las células del material y se retiene por las fuerzas osmóticas. La segunda se retiene sólidamente sobre la superficie y en los poros del material. La humedad de adsorción requiere para su eliminación un gas con una energía considerablemente

mayor que la utilizada para eliminar la humedad de hinchamiento. La existencia de estos tipos de humedad especialmente se manifiesta en materiales coloidales y poliméricos. [9]

2. 10.2.2. Definiciones fundamentales.

Para construir las curvas de secado los dato tabulados tiempo y la masa de la lúcumá húmeda obtenidos experimentalmente se transforman en datos de tiempo y humedad.

Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$X_{bs} = \frac{M_t - M_{ss}}{M_{ss}} \quad (2.1)$$

Dónde:

X_{bs} = Humedad en base seca

M_t = Masa del alimento húmedo para cada tiempo

M_{ss} = Masa del sólido seco.

Contenido de humedad, base húmeda:

Existen dos maneras de determinar la humedad:

- **Contenido de humedad, base seca: x**

$$\frac{kg_{humedad}}{kg_{sólido\ seco}}$$

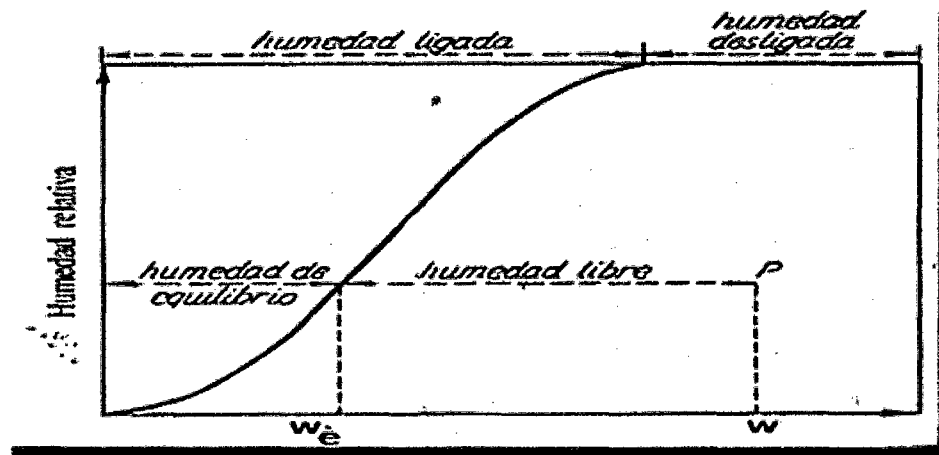
- **Contenido de humedad, base húmeda:**

$$\frac{k_{ghumedad}}{k_{gsólido húmedo}} = \frac{k_{ghumedad}}{k_{ghumedad} + k_{gsólido seco}}$$

La humedad que se determina en el laboratorio es el porcentaje de humedad en base húmeda.

Además, hay varios modos de estimar la cantidad de vapor en el aire del ambiente, cada una de ellas con aplicación en una ciencia o técnica específica. Se detallan en:

- **Humedades:**



$P_v \text{ sólido} > P_v \text{ atm}$: Evaporación y secado

$P_v \text{ sólido} < P_v \text{ atm}$: El sólido adquiere humedad

$P_v \text{ sólido} = P_v \text{ atm}$: Condiciones de equilibrio

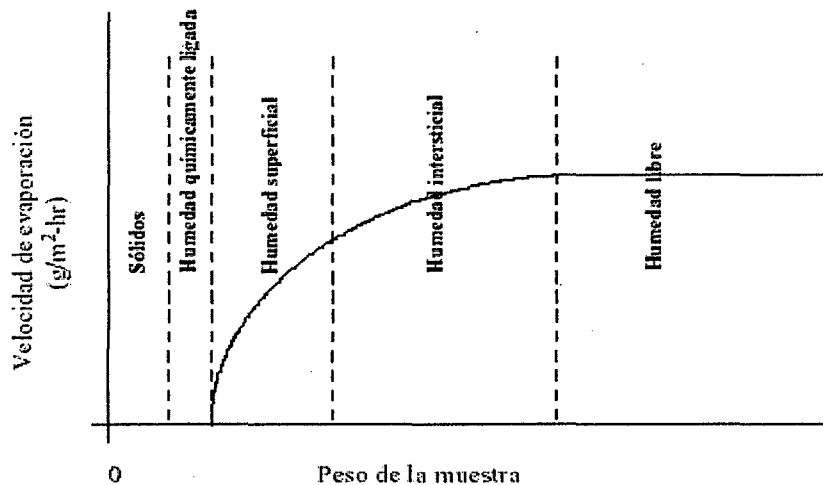


Figura 2.3. Velocidad de evaporación vs peso de la muestra

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml>

- **Humedad de Equilibrio**

Aquella en la que la humedad del sólido es igual a la humedad del aire, es decir, la presión de vapor del agua en el sólido es igual a la presión de vapor del aire. Cuando la humedad del sólido es superior a la humedad de equilibrio, el sólido se seca, mientras que cuando la humedad del sólido es menor a la humedad de equilibrio, el sólido absorbe agua del aire hasta llegar al equilibrio.

Así, tenemos dos tipos de sólidos:

Sólido húmedo: en el que la presión de vapor de agua del sólido es igual a la tensión vapor del agua, es decir en el que la presión de vapor

del agua es igual a la presión de vapor del aire.

Higroscópico: es aquel que ha sido secado por debajo de las condiciones de equilibrio. La presión de vapor del agua del sólido es menor que la tensión de vapor del agua, es decir que la presión de vapor del agua es menor que la presión de vapor del aire.

- **Humedad libre: $x - x^*$**

Es la humedad del sólido; que es la humedad que está en exceso con relación a la humedad de equilibrio. Es ésta la humedad que se puede evaporar y depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa.

Existen otras definiciones como humedad límite; que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor de equilibrio menos que aquella que ejerce el líquido puro a la misma temperatura y la humedad no límite que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

- **Humedad absoluta**

Se llama humedad absoluta a la cantidad de vapor de agua (generalmente medida en gramos) por unidad de volumen de aire ambiente (medido en metros cúbicos).

- **Humedad específica**

La humedad específica es la cantidad de vapor de agua contenido en el aire medido en gramos de vapor por kilogramo de aire húmedo (g/kg).

- **Razón de mezcla**

La razón de mezcla o relación de mezcla, es la cantidad de vapor de agua contenido en el aire medido en gramos de vapor por kilogramo de aire seco (g/kg). En la práctica es muy semejante a la humedad específica, pero en ciertas aplicaciones científicas es muy importante la distinción.

- **Humedad relativa**

La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental. Se expresa en tanto por ciento.

$$HR = p(H_2O)/p^*(H_2O) \times 100\% \quad (2.2)$$

Dónde:

Es la presión parcial de vapor de agua en la mezcla de aire:

- Es la presión de saturación de vapor de agua a la temperatura en la mezcla de aire.
- Es la humedad relativa de la mezcla de aire que se está considerando.

La importancia de esta manera de expresar la humedad ambiente estriba en que refleja muy adecuadamente la capacidad del aire de admitir más o menos vapor de agua, lo que, en términos de comodidad ambiental

para las personas, expresa la capacidad de evaporar la transpiración, importante regulador de la temperatura del cuerpo humano.

- **Humedad Ligada**

Es aquella humedad que se encuentra en el interior del sólido, por lo tanto la velocidad de secado no es constante y es difícil de eliminar, pues debe viajar desde el interior hacia la superficie para que se evapore.

Es el valor de la humedad de equilibrio del sólido en contacto con aire saturado; o bien la humedad mínima del sólido necesaria para que éste deje de comportarse como higroscópico.

- **Humedad Desligada**

Es aquella humedad que se encuentra en el exterior y es fácil de eliminar. La velocidad de secado es constante.

Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada; o bien la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado. Si el sólido tiene humedad desligada se comportará como húmedo.

Nota: Cuando la presión de vapor del agua en el sólido es igual a la presión de vapor de agua en la atmósfera existirá una humedad en equilibrio. Bajo esta cantidad de humedad el sólido se deshidrata, estos sólidos son denominados Higroscópicos.

2.10.2.3. Clasificación de la operación de secado

Las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente según que

sean por lotes o continuas. Estos términos pueden aplicarse específicamente desde el punto de vista de la sustancia que está secando. Así, la operación denominada secado por lotes, generalmente es un proceso en semilotes, en donde una cierta cantidad de sustancia que se va a secar se expone a una corriente de aire que fluye continuamente, en la cual se evapora la humedad. En las operaciones continuas, tanto la sustancia que se va a secar, como el gas pasan continuamente a través del equipo. Generalmente, no se utilizan métodos normales por etapas; en todas las operaciones ocurre el contacto continuo entre el gas y la sustancia que se seca. El equipo que se utiliza para el secado se puede clasificar de acuerdo con el tipo del equipo y por la naturaleza del proceso de secado.

La clasificación siguiente es útil para delinear las teorías de secado y los métodos de diseño:

- **Método de operación por lotes o continuo:** El equipo por lotes, o semilotes, se opera intermitente o cíclicamente en condiciones 'de estado no estacionario: el secador se carga con la sustancia, que permanece en el equipo hasta que se seca; entonces, el secador se descarga y se vuelve a cargar con un nuevo lote. Los secadores continuos generalmente se operan en estado estacionario.
- **Método de obtención del calor necesario para la evaporación de la humedad:** En los secadores directos, el calor se obtiene completamente por contacto directo de la sustancia con el gas caliente en el cual tiene lugar la evaporación. En los secadores indirectos, el calor se obtiene independientemente del gas que se utiliza para acarrear la humedad evaporada. Por ejemplo, el calor puede obtenerse por conducción a través de una pared metálica en contacto con la sustancia o, con menos

frecuencia, por exposición de la sustancia a radiación infrarroja o calentamiento dieléctrico. En este último caso, el calor se genera dentro del sólido mediante un campo eléctrico de alta frecuencia.

- **Naturaleza de la sustancia que se va a secar.** La sustancia puede ser un sólido rígido como madera o triplay, un material flexible como tela o papel, un sólido granular, como una masa de cristales, una pasta ligera o un lodo ligero, o una solución. Si es un sólido, puede ser frágil o fuerte. La forma física de la sustancia y los diferentes métodos de manejo necesarios tienen tal vez, la mayor influencia sobre el secador que se va a utilizar.

2.10.2.4. Mecanismos y cinética de secado con transferencia de masa y calor

Un elemento fundamental en el proceso de secado es el estudio de la intensidad de la transferencia de masa en el mismo. Para esto es necesario conocer los elementos más útiles de la transferencia de calor y masa que funcionen en los secaderos de contacto directo.

Según Madariaga (1995), esta depende de una serie de factores que van desde condiciones internas a externas.

- **Las condiciones externas** están definidas por la resistencia a la transferencia de calor y de masa de la capa límite del gas, y en el caso que predominen, el secado no dependerá de las características del sólido sino de las condiciones del gas, y estará controlado por la transferencia de masa y calor entre el gas y la superficie del sólido,

empleándose en la evaporación todo el calor que se recibe del gas, la cual se comporta como una superficie libre de agua.

- **Las condiciones internas** están definidas, por la transferencia de calor y de masa a través del sólido. En el caso que predominen, es decir, que la resistencia a la transferencia de masa a través del material sea muy superior a la de la capa límite del gas, la difusión interna controlará el proceso y lo más importante será las propiedades del sólido.

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

- Transmisión del calor para evaporar el líquido.
- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

Independientemente del mecanismo de transmisión de calor el cual puede ser por conducción, convección, radiación o una combinación de cualquiera de estos, el calor tiene que pasar primero a la superficie exterior y desde esta al interior del sólido. Excepto el secado por electricidad de alta frecuencia, que genera el calor intercambiante, esto conduce a la circulación de calor desde el interior hasta la superficie exterior (Menon and Mujundar, 1992) (Treybal, 1965) (Chemical. Eng. 1986). También se ha reportado otro tipo de secado llamado secado por sublimación.

En el secado por convección el calor necesario para la evaporación del líquido se transmite por un agente gaseoso o un vapor que pasa por encima del sólido o lo atraviesa.

En el secado por conducción el producto que debe secarse se encuentra en

recipientes calentado o se desplaza por encima de estos. El calor también se difunde en el sólido a través de la conductividad del propio sólido (Chemical. Eng. 1980).

En el secado por radiación el calor se transmite por las superficies radiantes próximas.

En el secado dieléctrico la energía es generada en el interior del propio material mediante un campo electromagnético de alta frecuencia en la zona de microondas (De La Peña Vilar ,1994).

También se reporta en la literatura el secado por sublimación, denominando así al secado en estado de congelación al vacío profundo. Según el método de transmisión del calor este procedimiento es análogo al secado por conducción pero debido a sus peculiaridades el secado por sublimación se destaca como un grupo especial. [9]

2.10.2.5. Movimiento de la humedad dentro del sólido

Cuando se produce la evaporación superficial, debe haber un movimiento de humedad desde las profundidades del sólido hacia la superficie.

La naturaleza del movimiento influye en el secado en los períodos de caída del régimen (Menon & Mujundar, 1992).

A continuación se explicarán brevemente algunas de las teorías que se adelantaron para explicar el movimiento de la humedad y la relación de ésta con las curvas de régimen.

- **Difusión líquida:** Se puede producir la difusión de la humedad líquida debido a los gradientes de concentración entre las profundidades del sólido, donde la concentración es alta y la superficie donde ésta es baja (Treybal, 1965).
- **Movimiento capilar:** La humedad no límite en sólidos granulares y porosos tales como arcillas, pigmentos de pinturas y otros semejantes, se traslada a través de capilares e intersticios de los sólidos mediante un mecanismo que implica tensión superficial. Los capilares se extienden desde pequeños receptáculos de humedad dentro del sólido hasta la superficie de secado. A medida que se lleva a cabo el secado, al principio la humedad se traslada por capilaridad hacia la superficie con suficiente rapidez, siendo constante el régimen de secado.
- **Difusión de vapor:** Especialmente si se suministra calor a una superficie de un sólido mientras en otra el secado continúa, se puede evaporar la humedad debajo de la superficie, difundiéndola hacia afuera como vapor. También se puede evaporar debajo de la superficie, las partículas de humedad existentes en sólidos granulares en forma aislada de la porción mayor de humedad que fluye a través de los capilares.
- **Presión:** Durante el secado debido a la concentración de las capas externas de un sólido, se puede compeler la humedad hacia la superficie. Usualmente solo podemos conjeturar sobre cuál de los mecanismos es el apropiado para cada sólido en particular, debiendo apoyarnos en el trabajo más o menos empírico de los regímenes experimentales de secado.

2.10.2.6. Cinética de secado

La cinética de secado de un material no es más que la dependencia de la humedad del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con este, como la propia humedad o las dimensiones del equipo. Se define la velocidad de secado por pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo $(-dX/dt)$ a condiciones constantes.

$$W = \frac{S}{A} \left(\frac{dX}{dt} \right) \quad (2.3)$$

Dónde:

W: velocidad de secado

A: área de la superficie expuesta

S: peso del sólido seco

La intensidad de evaporación se determina a través de la velocidad de secado, que es el cambio de humedad (base seca) en el tiempo.

A partir de las curvas de cinética de secado (x vs t , dx/dt vs x), que deben ser obtenidas a nivel de laboratorio, puede tenerse una idea del tiempo de secado, del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables del proceso tales como: temperatura, humedad de entrada, velocidad del aire, etc.

Por todo esto es que determinar las curvas de secado constituye uno de los objetivos fundamentales de este trabajo.

- **Periodo de velocidad constante:** Es el lapso de secado durante el cual la velocidad de eliminación de agua por unidad de superficie deseada es constante o uniforme.
- **Periodo de velocidad decreciente:** Es un lapso de desecación durante el cual la velocidad instantánea de secado disminuye en forma continua.

2.10.2.7. Curvas de régimen de secado

Se puede obtener abundante información si se convierten los datos a regímenes de secado, expresados como N (lb de humedad evaporada/ h-pie²), y se lleva a un gráfico en función del contenido de humedad. Se puede hacer esto midiendo las pendientes a las tangentes trazadas a la curva de humedad contra tiempo, o por medio de la determinación en base a la curva, de pequeños cambios Δx en el contenido de humedad para los correspondientes cambios en el tiempo Δt y calculando el régimen de secado como: $N = -L_s \cdot \Delta x / A \cdot \Delta t$. Donde L_s es el peso del sólido seco y A es la superficie húmeda sobre la que sopla el gas y a través de la cual se lleva a cabo la evaporación en el caso del secado con circulación cruzada de aire.

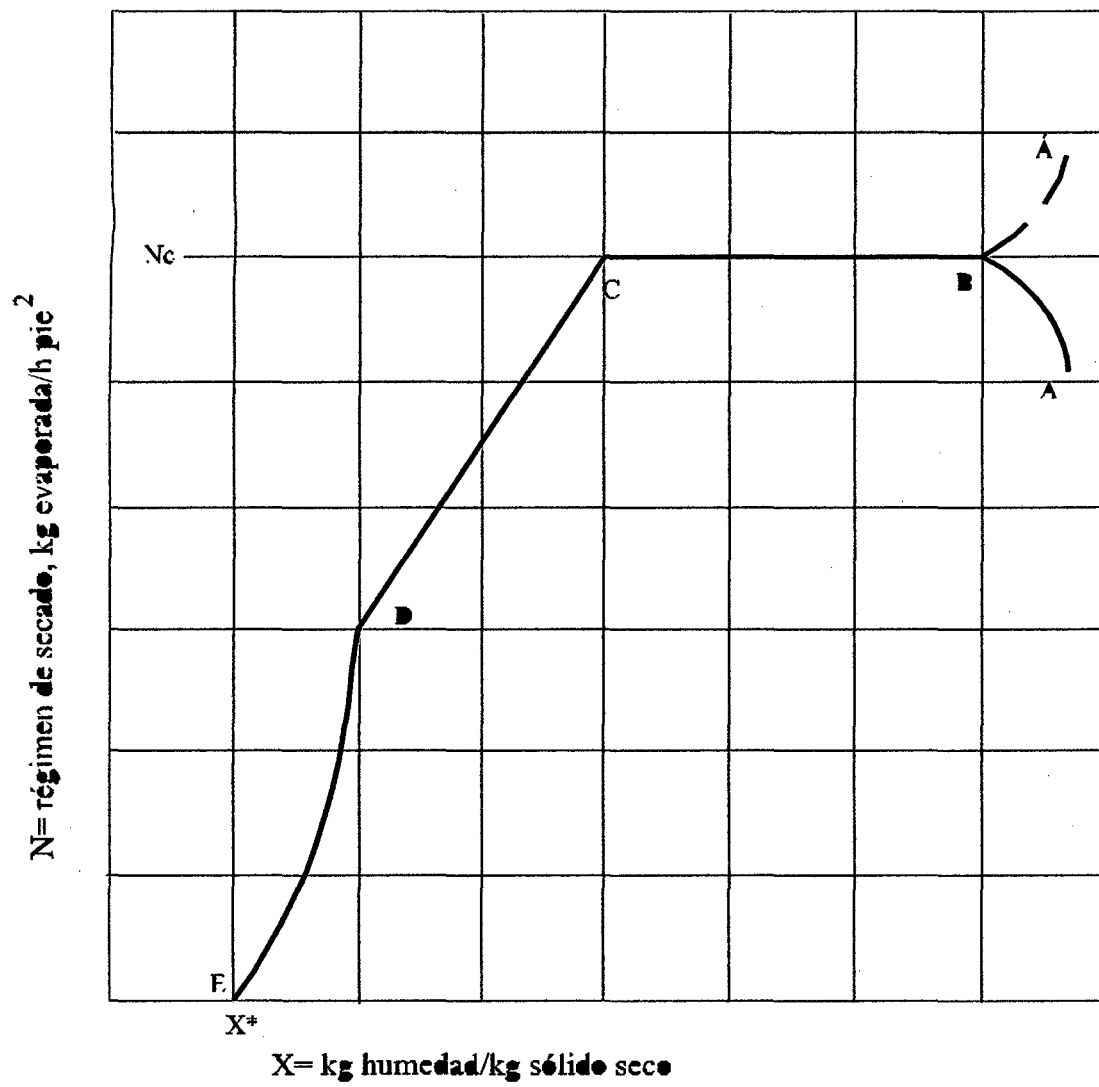


Figura 2.4. Curva de velocidad de secado vs humedad

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml>

Generalmente se pueden apreciar dos partes notorias de la curva de

régimen de secado: un período de régimen constante y uno de caída de régimen, aunque teóricamente existen o se pueden apreciar tres etapas del proceso o períodos de secado.

- **Etapas A-B:** Es una etapa de calentamiento (o enfriamiento) inicial del sólido normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases. Este equilibrio se alcanza a la temperatura de bulbo húmedo del gas.
- **Etapas B-C:** Es el llamado primer período de secado o período de velocidad de secado constante; donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas. En este período el sólido tiene un comportamiento no higroscópico. La velocidad de secado se mantiene constante si el gas tiene un estado estacionario y en general depende solo de las propiedades y velocidad del mismo. Si durante el proceso, el gas se enfría, la velocidad de secado decrece pero sigue en esta zona dependiendo de factores externos al sólido. Durante este período la temperatura del sólido se mantiene igual a la de bulbo húmedo del gas, ya que se mantiene el equilibrio alcanzado al final de la etapa de calentamiento.
- **Etapas C-E:** Es el segundo período de secado o período de velocidad de secado decreciente; donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas o las características internas y externas simultáneamente. En estas condiciones el sólido tiene un

comportamiento higroscópico. Durante el período, la temperatura del material sobrepasa la de bulbo húmedo debido a que el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido. Ahora la humedad deberá ser extraída del interior del material con el consiguiente incremento de la resistencia a la evaporación.

Este período de velocidad decreciente puede dividirse en dos partes, con diferentes comportamientos de la velocidad de secado, la cual decrece cada vez más al disminuir la humedad del sólido. Esto implica dos modelos de secado diferente en dicha zona.

Un parámetro muy importante a determinar en los materiales a secar es la humedad a la cual se cambia del primero al segundo período, llamada humedad crítica. Esta depende del tipo del material y de la relación de secado en el primer período.

La forma de la curva de secado en el segundo período varía en dependencia de las características del material a secar. Existen curvas típicas de cuerpos capilarporosos con grandes superficies específicas y de pequeñas superficies específicas así como de cuerpos coloidales (Madariaga, 1995).

Se reportan algunos trabajos donde se han realizado estudios de curvas de secado específicamente de bagazo. Guerra (1971) lo realizó a baja temperatura y no detectó valor alguno de humedad crítica, partiendo de una humedad del 50%. Grobart (1973) determinó un valor constante de humedad crítica de 44.66% para un rango de temperatura del aire entre 45°C y 70°C. Martínez (1988) obtiene una gran cantidad de cinéticas de secado para bagazo en cama fija donde se aprecia la humedad crítica

alrededor del 30 % aunque no da directamente correlaciones para determinarla y trabaja solamente hasta una temperatura del agente secante de 90°C.

Una de las tareas primarias en el estudio del secado de un sólido, es la identificación del modelo cinético que más adecuadamente se ajuste a los datos experimentales de secado. La adecuación de un modelo de secado consiste en la estimación de sus parámetros según algún criterio de comportamiento que tome en cuenta la magnitud de la humedad media del sólido y la magnitud de la humedad calculada por el modelo propuesto (Rev. Tecnología Química., N°4. 1983).

Novoa y Haber (1995) realizaron un estudio de la cinética de secado del cacao donde con el proceso de secado lograron una disminución de la humedad del grano hasta un nivel tal que garantiza la conservación en las debidas condiciones hasta su industrialización. El método utilizado para el procesamiento de los datos experimentales y ajustar los modelos matemáticos de las curvas de secado, se basó en una ecuación cinética que permite describir todo el proceso de secado incluyendo ambos períodos, donde todos los parámetros de la ecuación se pueden determinar fácilmente a partir de la curva de secado y las condiciones límites (Strumillo, 1986).

De esta forma el modelo que permite realizar el ajuste a las curvas y estimar el tiempo de secado es el siguiente:

$$t = \frac{1}{k(x_0 - x_{eq})} \ln \frac{(x_0 - x_i) \cdot (x_{1eq} - x_{eq})}{(x_0 - x_{1eq}) \cdot (x_i - x_{eq})} \quad (2.4)$$

Este método ha sido probado en la práctica para el estudio de la cinética de secado de sólidos porosos y capiloporosos.

Novoa (1995) estima el coeficiente de transferencia de masa mediante la expresión:

$$K_g = m_s \cdot k (x_i - x_{eq}) / A \quad (2.5)$$

Dónde:

k = coeficiente de velocidad de secado (min^{-1})

K_g = coeficiente de transferencia de masa ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}$)

m_s = peso del material seco (kg)

x_i = humedad del material en un instante de tiempo (kg/kg)

x_{eq} = humedad de equilibrio (kg/kg)

x_{1eq} = contenido de humedad del material durante el período inicial de secado o humedad crítica (kg/kg)

x_0 = humedad inicial del material (kg/kg)

2.10.2.8. Equilibrio durante el secado

Si el material a secar se pone en contacto con el aire húmedo entonces en principio son posibles dos procedimientos:

- **Secado** (desorción de la humedad del material) siendo la presión parcial del vapor (p_m) sobre la superficie del material superior a su presión parcial en el aire o el gas (p_v), es decir para $p_m > p_v$
- **Humectación** (sorción de la humedad del material) para $p_m < p_v$.

En el proceso de secado la magnitud p_m disminuye y se aproxima a su límite $p_m = p_v$. En este caso comienza el estado de equilibrio dinámico, al que corresponde la humedad límite del material, llamada humedad de equilibrio (X_{eq}).

La humedad de equilibrio depende de la presión parcial del vapor sobre el material (p_v) o de la magnitud de la humedad relativa del aire (ϕ) que es proporcional a dicha presión y se determina por vía experimental (Treybal, 1965) (Menon and Mujundar, 1992).

Para este fin una muestra del material a secar se coloca en un medio ambiente con distinta humedad relativa (ϕ), siendo el tiempo constante y se pesa periódicamente. La humedad del material al lograr que su masa no varíe, alcanza el equilibrio.

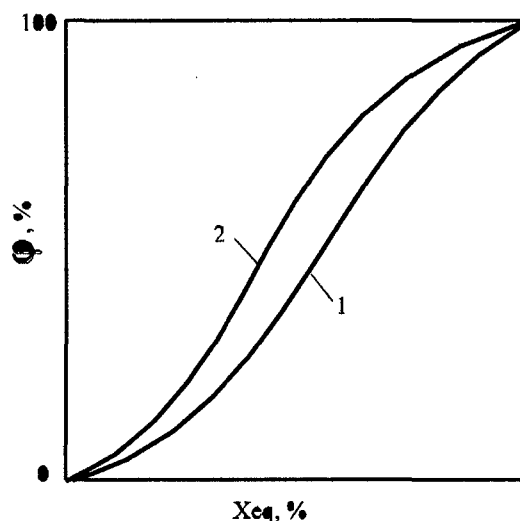


Figura 2.5. Dependencia entre la humedad de equilibrio de la materia y la humedad relativa del aire

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml>

Habitualmente el peso constante para las muestras se logra en una desecadora, empleando soluciones de ácido sulfúrico de diferentes concentraciones y así se obtiene la dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire.

La dependencia de la humedad de equilibrio del material en función de la humedad relativa del aire se determina siendo constante la temperatura, y por tanto, es una isoterma. La curva 1 fue obtenida al evaporar (desorber) la humedad del material, o sea, al secarlo y se denomina isoterma de desorción. La curva 2 dispuesta por encima, obtenida para el proceso inverso, es decir, humectación del material ya secado, se llama isoterma de sorción.

La divergencia de las curvas 1 y 2 (histéresis) indica que para lograr una misma humedad de equilibrio del aire la magnitud (ϕ) durante la humectación del material debe ser mayor, que durante el secado mismo. La causa de la histéresis probablemente se deba a la entrada del aire en los capilares del material secado y su sorción por las paredes de los capilares.

En estudios realizados en relación a la variación del contenido de humedad crítica y de equilibrio de la Bentonita de Calcio con la humedad relativa del gas (Revista tecnología Química. N° 4., 1984), se concluye que la curva de velocidad de secado consta de un período de velocidad constante y de un período decreciente curvo desde la humedad crítica hasta la de equilibrio, que por ser la curva cóncava hacia arriba indica que la humedad se elimina por difusión desde las partes internas del material hasta la superficie, siendo este el período que controla en el secado.

2.10.3. PSICOMETRÍA

La psicometría se define como "aquella rama de la física relacionada con la medición o determinación de las condiciones del aire atmosférico, particularmente respecto de la mezcla de aire seco y vapor de agua", o bien "aquella parte de la ciencia que está en cierta forma íntimamente ligada a las propiedades termodinámicas del aire húmedo". Las propiedades termodinámicas de la mezcla de aire seco y vapor de agua revisten gran interés en la etapa de postcosecha de productos agrícolas, por el efecto que tiene la humedad del aire atmosférico sobre el contenido de humedad de los productos.

En la conservación y almacenamiento de productos agrícolas se emplean diversas prácticas con participación directa de la psicometría; una de dichas prácticas es el secado. En el secado a bajas temperaturas en particular, la tasa de secado depende de la capacidad del aire para evaporar la humedad (potencial de secado), la cual es determinada por las condiciones psicométricas del aire: temperatura y humedad relativa.

En el secado y almacenamiento, uno de los conceptos más importantes es el contenido de humedad de equilibrio. Así se denomina al intercambio recíproco de humedad entre materiales higroscópicos, tales como los granos, y el aire que los rodea; la condición de intercambio recíproco de humedad indica el equilibrio que hay entre el aire y el material. Se establece dicho equilibrio cuando la presión de vapor que corresponde a la humedad del producto es igual a la presión de vapor de la humedad presente en el aire, en condiciones fijas de temperatura. Por tanto, en los estudios de higroscopia, las propiedades termodinámicas del aire húmedo son de fundamental importancia.

El conocimiento de las condiciones de humedad y temperatura del aire es de

gran importancia también en muchos otros aspectos de la actividad humana. La conservación de productos tales como frutas, hortalizas, huevos y carnes, en cámaras frigoríficas, depende en gran medida de la mantención de la adecuada humedad relativa del ambiente. - a pérdida de peso depende de la humedad del aire en la cámara de almacenamiento; si la humedad es baja, la pérdida de peso es elevada.

2.10.3.1. Aire atmosférico

Por sus dimensiones y por los procesos físico-químicos que se produjeron, el planeta Tierra posee hoy una capa gaseosa que lo envuelve (aire atmosférico), la que constituye la atmósfera de la Tierra y es esencial para las formas de vida que se encuentran en ella.

El aire atmosférico se compone de una mezcla de gases, vapor de agua y una mezcla de contaminantes, tales como humo, polvo, y otros elementos gaseosos que no están presentes normalmente, en lugares distantes de las fuentes de contaminación.

Por definición, existe aire seco cuando se ha extraído todo el vapor de agua y los contaminantes del aire atmosférico. Mediante extensas mediciones se ha demostrado que la composición del aire seco es relativamente constante, si bien el tiempo, la ubicación geográfica y la altura determinan pequeñas variaciones en la cantidad de componentes. La composición porcentual, en volumen o número de moles por 100 moles de aire seco, aparece en el Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Composición del aire seco

Substancia	Fórmula	Masa molecular (kg kg-mol⁻¹)	Porcentaje en volumen (moles/ 100 moles)
Nitrógeno	N ₂	28.016	78.08400
Oxígeno	O ₂	32.000	20.94960
Argón	Ar	39.948	0.93400
Dióxido de carbono	CO ₂	010	0.03140
Neón	Ne	20.183	0.001818
Helio	He	4.0026	0.000524
Metano	CH ₄	16.03188	0.00020
Dióxido de azufre	SO ₂	64.064	0.00010
Hidrógeno	H ₂	2.01594	0.00005
Criptón	Kr	83.800	0.00020
Ozono	O ₃	48.000	0.00020
Xenón	Xe	131.300	0.00020
Total			100.000000

Fuente: ASHRAE, 1977

La masa molecular aparente del aire seco es de 28.9645 kg-mol y la del vapor de agua es de 18,1535 kg-mol, ambas en la escala del carbono 12 (ASHRAE, 1977). El aire seco, normalmente tiene vapor de agua asociado, lo que da origen al que se denomina aire húmedo, que es una mezcla binaria de aire seco y vapor de agua. La cantidad de vapor presente en la mezcla puede variar entre cero y un valor

correspondiente al estado de saturación. Esto corresponde a la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede soportar a una temperatura determinada.

2.10.3.2. Propiedades termodinámicas del aire húmedo

Hay diversas propiedades termodinámicas fundamentales ligadas a las propiedades del aire húmedo. Hay dos propiedades independientes, además de la presión atmosférica necesaria para establecer el estado termodinámica del aire húmedo.

Tres propiedades se relacionan con la temperatura:

- a. Temperatura de bulbo seco
- b. Temperatura termodinámica de bulbo húmedo
- c. Temperatura del punto de rocío

Algunas propiedades termodinámicas caracterizan la cantidad de vapor de agua presente en el aire húmedo:

- a. Presión de vapor
- b. Razón de humedad
- c. Humedad relativa;
- d. Grado de saturación

Otras propiedades de fundamental importancia, relacionadas con el volumen ocupado por el aire y con la energía del aire, respectivamente, son:

- a. El volumen específico
- b. La entalpía

- **La entalpía y el volumen específico**

Son propiedades de la mezcla de aire seco y vapor de agua, pero para mayor comodidad se expresan sobre la base de una unidad de masa de aire seco.

- **La temperatura psicrométrica de bulbo húmedo (T_{bh})**

No es una propiedad termodinámica de la mezcla de aire seco y vapor de agua y se tratará separadamente.

- **Temperatura de bulbo seco (T)**

La temperatura de bulbo seco, es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia se la denomina sólo temperatura del aire; es la temperatura del aire que marca un termómetro común.

- **Temperatura de punto de rocío (T_{pr})**

La temperatura de punto de rocío, es la temperatura a la cual el aire húmedo no saturado se satura, es decir, cuando el vapor de agua comienza a condensarse, por un proceso de enfriamiento, mientras que la presión y la razón de humedad se mantienen constantes.

- **Temperatura termodinámica de bulbo húmedo (T^*)**

La temperatura termodinámica de bulbo húmedo, es la temperatura de equilibrio que se alcanza cuando la mezcla de aire seco y vapor de agua pasa por un proceso de enfriamiento adiabático hasta llegar a la saturación.

- **Presión de vapor (P_v)**

La presión de vapor, es la presión parcial que ejercen las moléculas de vapor de agua presentes en el aire húmedo. Cuando el aire está totalmente saturado de vapor de agua, su presión de vapor se denomina presión de vapor saturado (P_{vs}).

- **Razón de humedad (razón de mezcla) (W)**

La razón de humedad del aire, se define como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco en un volumen dado de mezcla. Algunos autores confunden los términos razón de humedad y humedad absoluta; la humedad absoluta, denominada también densidad del vapor de agua, es la relación entre la masa de vapor de agua y el volumen que ocupa la mezcla de aire seco y vapor de agua.

- **Humedad relativa (H_r)**

La humedad relativa del aire, se define como la razón entre la presión de vapor de agua en un momento dado (P_v) y la presión de vapor de agua cuando el aire está saturado de humedad (P_{vs}), a la misma temperatura. La humedad relativa se puede expresar como decimal o como porcentaje.

- **Grado de saturación (μ)**

El grado de saturación, es la relación entre la razón de humedad real de la mezcla (W) y la razón de humedad del aire en estado de saturación (W_s), a igual temperatura y presión atmosférica.

- **Entalpía (h)**

La entalpía de la mezcla de aire seco y vapor de agua, es la energía del aire húmedo por unidad de masa de aire seco, por encima de una temperatura de referencia; dado que en ingeniería sólo las diferencias de entalpía tienen interés práctico, el valor que se escoja para la temperatura de referencia carece de importancia.

- **Volumen específico (Ve)**

El volumen específico del aire húmedo, se define como el volumen que ocupa la mezcla de aire seco y vapor de agua por unidad de masa de aire seco. La masa específica del aire húmedo no es igual al recíproco de su volumen específico. La masa específica del aire húmedo es la relación entre la masa total de la mezcla y el volumen que ella ocupa.

- **Temperatura psicométrica de bulbo húmedo (Tbh)**

Un psicrómetro se compone de dos termómetros, uno de ellos envuelto en una tela constantemente humedecida (termómetro de bulbo húmedo) y otro, al lado del primero, en simple equilibrio térmico con el aire atmosférico (termómetro de bulbo seco). El termómetro de bulbo húmedo recibe sobre sí un flujo de aire constante por medio de un sistema de ventilación. Se evapora así la humedad y se retira energía del bulbo húmedo. La temperatura baja, y al llegar al punto de equilibrio, se estabiliza. La temperatura que registra el termómetro en esas condiciones se llama temperatura psicométrica de bulbo húmedo.

Se entiende por estado de equilibrio la situación en que el flujo de energía del aire al bulbo del termómetro es igual a la energía necesaria para la evaporación de la humedad. En ese estado de equilibrio, a partir de un balance de energía, se puede escribir la ecuación siguiente

$$P_v = P_{VS,bh} - a_1 P(T - T_{bh}) \quad (2.6)$$

Ec.1

En que a_1 se denomina constante psicométrica, y depende de la temperatura, de la geometría del bulbo del termómetro y de la velocidad del aire. Varios investigadores determinaron empíricamente los valores de la constante psicométrica, con los siguientes resultados:

$$a_1 = 0.000662^\circ\text{C}^{-1}$$

Para psicrómetros con sistema de movimiento de aire (aspiración) de tipo ASSMANN, donde la velocidad del aire es mayor que 3 m/s.

$$a_1 = 0.000800^\circ\text{C}^{-1}$$

Para psicrómetros sin aspiración de aire, instalado en una caseta meteorológica, donde la velocidad del aire es del orden de 1 m/s.

$$a_1 = 0.00120^\circ\text{C}^{-1}$$

Para psicrómetros no ventilados, es decir, aire sin movimiento (en reposo).

2.10.3.3. Gráfico psicométrico

Las propiedades termodinámicas de la mezcla de aire seco y vapor de agua que constituyen el aire atmosférico, se pueden presentar adecuadamente en forma de gráfico, con el nombre de gráfico psicométrico, el cual se construye según una presión atmosférica determinada, aunque suele haber curvas de corrección para otras presiones.

Hay diferentes gráficos psicométricos en uso. Ellos difieren en cuanto a la presión barométrica, la banda de temperaturas, número de propiedades comprendidas, elección de las coordenadas y temperatura de referencia para la entalpía. El de uso más frecuente en EE.UU. es aquél en que la razón de humedad o la presión de vapor, que es una de las coordenadas, se gráfica en función de la temperatura de bulbo seco, y en que la otra coordenada que se escoge para la construcción (coordenada oblicua) es la entalpía. En Europa en cambio, se usa el gráfico de MOLLIER, cuyas coordenadas son la razón de humedad y la entalpía.

En el gráfico psicométrico, una vez elegidos las coordenadas, las demás propiedades aparecen como parámetros. Dos propiedades independientes cualesquiera, incluso la temperatura psicométrica de bulbo húmedo, fijan el estado de la mezcla (punto de estado).

- **Enfriamiento con deshumedecimiento**

El enfriamiento del aire, cuando se alcanza la curva de humedad relativa máxima ($\phi = 100\%$), se tiene en el punto de rocío. El enfriamiento de ese aire, moverá el punto de estado sobre la línea de saturación, con lo

que se condensa una parte del vapor de agua presente en el aire. En consecuencia, la razón de humedad disminuirá.

- **Secado y humedecimiento adiabático del aire**

La adición de humedad al aire o su extracción de él, sin aumentar ni disminuir la energía, hace que el punto de estado se mueva sobre una línea de entalpía constante. Si se trata de agregar humedad, el punto se desplaza hacia arriba y si se trata de retirar humedad, se desplaza hacia abajo.

- **Humedad relativa y déficit de presión de vapor**

La medida de la humedad relativa del aire se puede obtener mediante las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo, medidas con un psicrómetro. La disminución de la temperatura de bulbo húmedo depende de la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, además de la velocidad del aire en torno a la tela embebida en agua destilada. El déficit de saturación se encuentra por la diferencia entre la presión de vapor de agua saturado (P_{VS}) y la presión de vapor real del aire (P_v), a la temperatura en que se encuentra el aire. Cuando se conoce la temperatura del aire, la presión del vapor de agua saturado (P_{VS}). La presión de vapor de agua real (P_v), se puede calcular con la ecuación siguiente:

$$P_v = P_{vs,bh} - a_1 P (T - T_{bh}) \quad (2.6)$$

y la presión atmosférica, de acuerdo a la altura del lugar. Luego, recordando que la humedad relativa del aire la da se puede determinar la humedad relativa del aire en lugares en que no se dispone de gráficos psicométricos, de acuerdo con la altura local, o incluso en situaciones en que no se dispone de psicrómetros con sistema de movimiento de aire.

$$\phi = \frac{P_v}{P_{vs}} \times 100 \quad (2.7)$$

CAPÍTULO III

MATERIALES Y

MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Laboratorio de Procesos Unitarios, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la UNPRG.

La fase experimental tuvo una duración efectiva de 04 semanas, en el mes de Diciembre del 2014.

3.2. SISTEMAS DE VARIABLES

Se utilizaran dos variables independiente: T, con Tres niveles y W con tres niveles de estudio respectivamente y una variable dependiente: H_p , tal como se indica en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Niveles de las variables de estudio

Variables Independientes	Niveles de Estudio
Factor T: Temperatura del aire secado	$T_1 : 40^{\circ}\text{C}$
	$T_2 : 50^{\circ}\text{C}$
	$T_3 : 60^{\circ}\text{C}$
Factor W: Peso de la pulpa fresca	$w_1 : 80 \text{ g}$
	$w_2 : 90 \text{ g}$
	$w_3 : 100 \text{ g}$
Variables Dependientes: H_p	Humedad del Producto: %
Material: Lúcumas del valle de Lambayeque del tipo seda con madurez fisiológica	

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En el presente trabajo se usará un diseño bifactorial con 3 niveles para la temperatura T y el peso de la pulpa fresca W, por lo tanto se usara un Diseño Factorial de 3x3.

Se plantea un diseño factorial con 3 niveles cada variable independiente con tres repeticiones, lo que se resume en el siguiente cuadro:

Tabla 3.2. Diseño de la matriz experimental

T W	T₁	T₂	T₃
	T₁W₁	T₂W₁	TW₁
	T₁W₂	T₂W₂	T₃W₂
	T₁W₃	T₂W₃	T₃W₃

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Dónde:

- **Variables Independientes** : T (Temperatura de secado)
W (Peso de pulpa fresca)
- **Variable dependiente** : H (Humedad del producto)

T = Temperatura en °C

W = Peso de la pulpa fresca en gramos

R= Réplicas para cada material 3

NTP = Número total de pruebas

NTP = (Nº de niveles T)*(Nº de niveles W)*(Nº de réplicas)

NTP = (3)*(3)*(3) = 27

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3. 4.1. Universo Objetivo

Lúcuma Poutería Obovata

3. 4.2. Universo Muestral

Pulpa de Lúcuma tipo seda con madurez fisiológica.

3. 4.3. Población

Sembrío de lúcuma en el departamento de Lambayeque.

3. 4.4. Muestra

Está constituida por 27 bandejas conteniendo la pulpa fresca de lúcuma.

3.5. MATERIALES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3. 5.1. Materiales y Equipos:

- 3 Kg de fruta fresca (lúcuma)
- Metabisulfito de potasio: Solución de 80 ppm

- Mesa de trabajo
- Bandejas (ACERO INOXIDABLE)
- Cuchillos (FACUSA)
- Coladores (BASA)
- Tablas de picar (BASA)
- Cronómetro (CASIO HS-80TW-1EF)
- Termómetro (PREMIERE, -20°C–150°C)
- Brixómetro (HAND HELD REFRACTOMETER RH, 0-80°Brix ATC)
- Potenciómetro (HANNA INSTRUMENT; MODELO: PH 213 MARCA: HANNA, 0-14 pH).
- Balanza analítica (EXCELL BH- 300 CAPACIDAD MÁXIMA, 0-500 g)
- Estufa (BINDER /DIN 12880); MOD FD 53; MARCA: BINDER, 0-1000°C)
- Vaso de precipitación de 500 ml (PIREX)
- Pipetas de 10 ml (KIMAX)
- Probeta graduada de 1 L (GERMANY)
- Agitador Magnético (NUOVA II STIPRER 10 VELOCIDADES)
- Secador de bandejas (MATERIAL: ACERO INÓXIDABLE AISI 316, RANGO DE TEMPERATURA: 0-399°C, TERMINALES: 8 CON ENTRADA TIPO "J", VOLTAJE: 220 V, RESISTENCIA: 12 OHMIOS C/U, TIPO DE CONEXIÓN: PARALELO/MONOFÁSICA, POTENCIA: ¾ HP, TIPO DE PALETAS: AXIAL, VELOCIDAD MÁXIMA DE OPERACIÓN: 3450 RPM, PRECISIÓN DE OPERACIÓN: 760 mmHg o 1 atm, NÚMERO DE BANDEJAS: 4)

3. 5.2. Técnicas y recolección de datos:

- La observación en la experimentación
- Medición
- Comparación

3. 5.3. Instrumentos de recolección de datos:

- Libreta de apuntes
- Lapiceros
- Borrador
- Calculadora
- Computadora
- Copias de libros
- Software estadístico, Statgraphics Centurion XVI para la evaluación de los datos recolectados y elaboración de Figuras.

3.6. MÉTODOS DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3. 6.1. Materia prima (Lúcuma)

Para las pruebas se recepciona la materia prima las cuales fueron sometidas a diferentes temperaturas y tiempos para la deshidratación. La variedad utilizada fue la de seda una de las mejores variedades en el mercado.

3. 6.2. Recepción y pesado

Verificación de la lúcuma para saber si está correctamente y en orden

después de su cosecha y extracción para luego la materia prima ser pesada en una balanza.

3. 6.3. Selección

Se selecciona aquellas que sean las mejores para de que de esta manera puedan ser procesadas y tener aquellas que rindan una mejor calidad del producto final.

3. 6.4. Lavado y desinfección

Se lava las lúcumas puesto que han estado en un lugar de cosecha (tierra) y se desinfecta en una solución de agua con metabisulfito de potasio (80 ppm).

3. 6.5. Pelado

La operación de pelado de la fruta fresca fue manual para extraer la cáscara de la lúcumas.

3. 6.6. Despepado

Se quita la cantidad de pepas que tenga la fruta.

3. 6.7. Rebanado

Se corta en rodajas de 3.2 mm de espesor.

3. 6.8. Secado

La fruta en rodajas se coloca en las bandejas, previamente taradas, y luego pesadas con las rodajas de lúcumas y se introducen en la cámara del secador de bandejas tomando las temperaturas de 40°, 50° y 60°C.

3. 6.9. Molienda

Una vez seca la fruta por un lapso de 2 o 3 días, se pasa por un molino de acero inoxidable para obtener la harina.

3. 6.10. Envasado

Se envasa la harina en bolsas de ¼ Kg.

3. 6.11. Etiquetado

El producto en este caso es etiquetado.

3.7. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental se desarrollará siguiendo la secuencia mostrada en la Figura 3.1., la que a continuación se detalla.

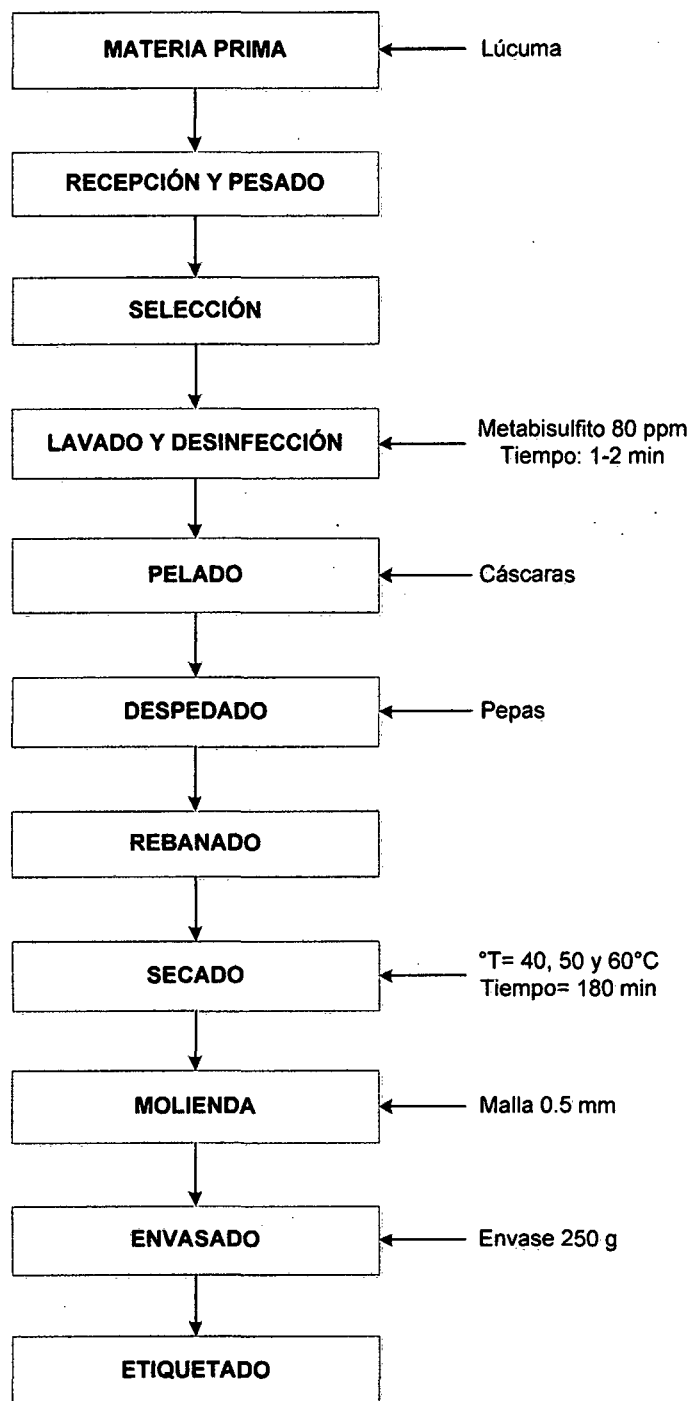


Figura 3.1. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de harina a partir de la lúcumá
Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

3.8. EQUIPO DE LA PLANTA PILOTO

El equipo utilizado en las pruebas del procesamiento de la lúcumá fue un secador de bandejas, el mismo que consta de los siguientes componentes:

3.8.1. EQUIPO EXPERIMENTAL DE SECADO

Se utilizó un secador piloto, tipo bandejas, tal como se muestra en la Figura 3.2. El funcionamiento satisfactorio de los secadores de bandejas depende del mantenimiento de una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme sobre todo del material que se esté secando.

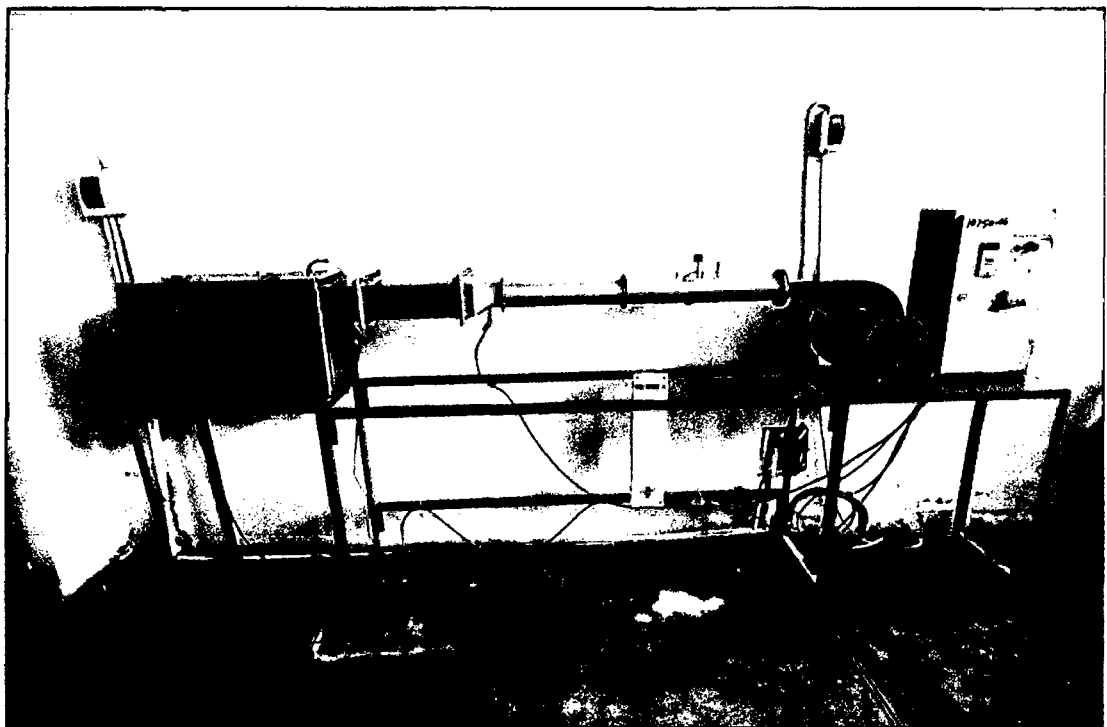


Figura 3.2. Vista frontal del secador de bandejas

Fuente: Secador de bandejas (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

3.8.1.1. Características del secador de bandejas

a. Características generales

El equipo de secado de laboratorio consta de un ducto (tubería) de aire montado sobre una armazón (estructura) la cual está a una altura confortable para tener condiciones de trabajo adecuadas (ver Figura 3.2.).

El aire entra dentro del ducto a través de una malla de seguridad (ver Figura 3.5) por medio del motor de un ventilador de paletas, tipo siroco que conduce el aire en un flujo axial cuya velocidad es fija. El aire se calienta por medio de un banco de resistencias eléctricas (calentador eléctrico) controladas por medio de un regulador de potencia para proporcionar una variación en la temperatura del aire de hasta un máximo de 80°C. El aire caliente, pasa dentro de la sección central del ducto, donde 4 bandejas con el material a secar son suspendidas en la corriente de aire (ver Figura 3.3.).

Las bandejas están levantadas por un soporte, el cual está conectado. Las bandejas son insertadas o removidas de la cámara de secado a través de una puerta lateral.

Después de pasar por las bandejas, el aire es descargado a la atmósfera. La temperatura de bulbo seco es medida usando un termómetro de vidrio en forma directa que está montado sobre la cámara de secado.

Tabla 3.3. Características del secador de bandejas

Equipo	Secador de bandejas o anaqueles
Tipo de operación	Discontinua por contacto directo
Tipo de calentamiento	Convección forzada
Numero de zonas de control	1
Tipo de control	Lazo cerrado
Voltaje de operación	220 V
Temperatura de operación	Temperatura ambiente
Presión de operación	760 mm Hg o 1 atm

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

b. Cámara de secado

La cámara de secado (ver Figura 3.3.), es el lugar donde se colocan las bandejas con las muestras a secar y su características se presentan a continuación.

Tabla 3.4. Características de la cámara de secado

Número de unidades	1
Material de construcción	Acero inoxidable – AISI 316
Número de separaciones	3
Dimensiones (Longitud – Altura – Ancho)	54.1 – 34.9 – 25.6 cm
Número de bandejas	4

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

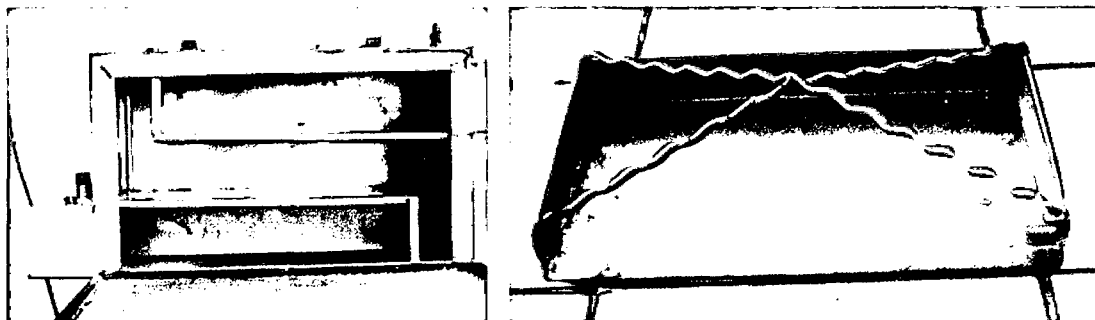


Figura 3.3. Cámara de secado y bandeja porta muestra

Fuente: Secador de bandejas (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

c. Ducto de aire

Está constituida por una tubería con costura y provista de bridas para su interconexión, así como también presenta dos dámetros para regular manualmente el flujo de aire necesario tratando de mantenerlo constante. (ver Figura 3.4.).

Tabla 3.5. Características del ducto de aire

Número de unidades	1
Material de construcción	Acero inoxidable – AISI 304
Diámetro	3.00 pulgadas
Longitud	110.12 cm

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

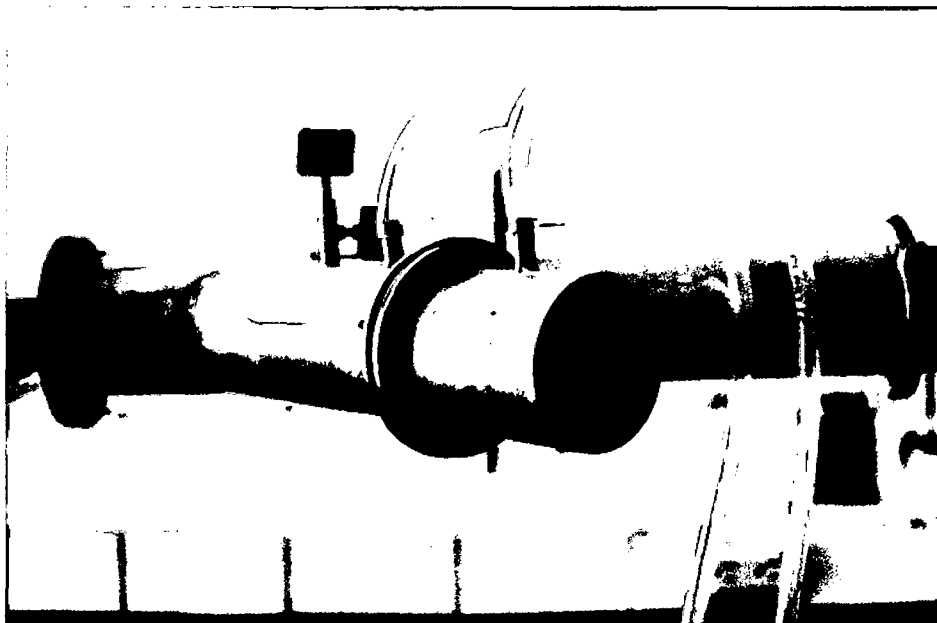


Figura 3.4. Ducto de aire

Fuente: Secador de bandejas (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

d. Generador de Aire: Ventilador centrífugo

Tabla 3.6. Características del generador de aire

Número de unidades	1
Tipo de conexión	Monofásica
Voltaje de operación	220 voltios
Potencia	$\frac{3}{4}$ HP
Tipo de paletas	Axial
Velocidad máxima de operación	3450 rpm

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

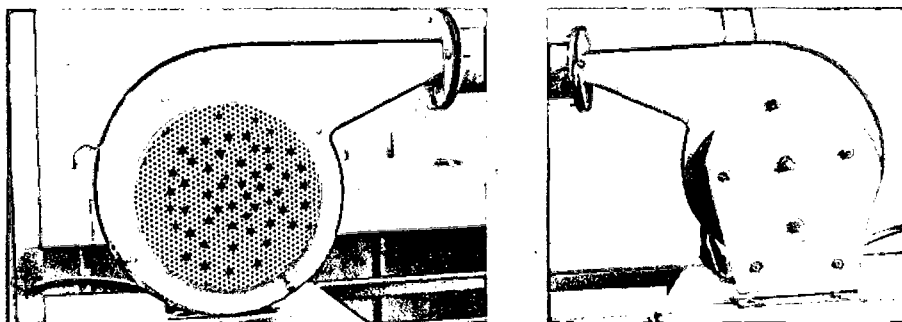


Figura 3.5. Envolvente y conexión al ducto del ventilador de aire

Fuente: Secador de bandejas (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

e. Calefactor: Resistencias

El elemento calefactor, del secador de laboratorio, es realmente el calentador eléctrico que calienta el aire atmosférico (ver Figura 3.6.).

Tabla 3.7. Características del calentador eléctrico

Número de unidades	4
Tipo de conexión	Paralelo/Monofásica
Resistencia	12 ohmios (c/u)
Voltaje de operación	220 voltios
Ubicación	A la entrada de la cámara de secado

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

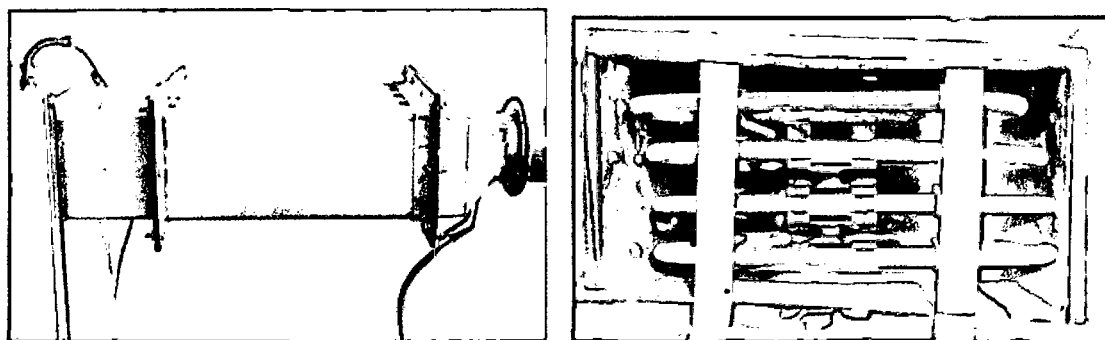


Figura 3.6. Caja y resistencias del calentador eléctrico

Fuente: Secador de bandejas (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

3.8.1.2. Caja de seguridad

La caja de seguridad, está constituido por el tablero de control, cuyas características son las siguientes:

- Material de construcción: Metal.
- Dimensiones (Longitud – Altura – Ancho): 25.2 - 41.8 - 14.8 cm.
- Consta de: 1 Controlador Digital De temperaturas XMTG – 2501.
 1 piloto que indica el encendido de la resistencia eléctrica.
 1 piloto que indica el encendido del ventilador.
 2 llaves térmicas: una para el encendido del ventilador y otra para el encendido de las resistencias.

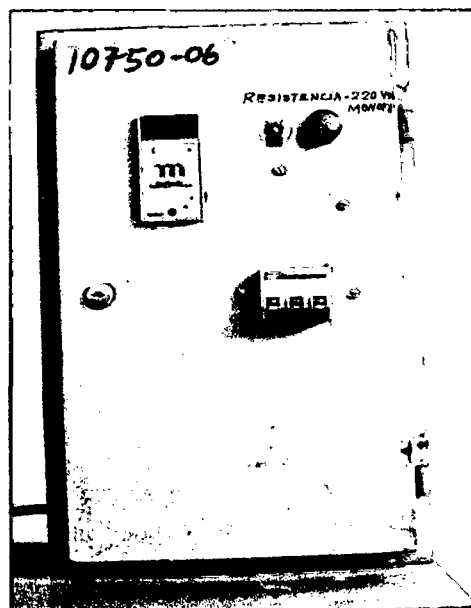


Figura 3.7. Caja de seguridad

Fuente: Secador de bandejas (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

a. Controlador digital de temperatura

Tabla 3.8. Característica del controlador de temperatura

Modelo	XMTG – 2501
Numero de terminales	8
Tipo de entrada	J
Rango	0 – 399°C
Precisión	≤0.1 F.S
Fuente de alimentación	85 – 242 VAC
Dimensiones (Longitud – Altura – Ancho)	4.8 – 4.8 – 11.0 cm
Ambiente de trabajo: T y HR	0 – 50°C/<80%

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

3.8.1.3. Instrumentación acoplada

a. Termocupla

Características:

- 1 termocupla Tipo: J (Fe - CuNi)
- Escala de medida: 0–500°C
- Limitaciones:

No se deben usar en atmósferas sulfurosas por encima de 540°C. A causa de la oxidación y fragilidad potencial, no se las recomienda para temperaturas inferiores a 0°C. No deben someterse a ciclos por encima de 760° C, aún durante cortos períodos de tiempo, si en algún momento posterior llegaran a necesitarse lecturas exactas por debajo de esa temperatura.

Está ubicada en la cámara de secado, es controlada por el controlador digital de temperatura y su función es medir la temperatura de entrada del aire a la cámara.



Figura 3.8. Termocupla

Fuente: Secador de bandejas (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

b. Manómetro diferencial en U

Características:

- 1 manómetro: Glicerina
- Forma: U

Está ubicada al costado del ventilador, debajo de un tubo en el cual va a medir la variación de presión de entrada producida por una placa de orificio.

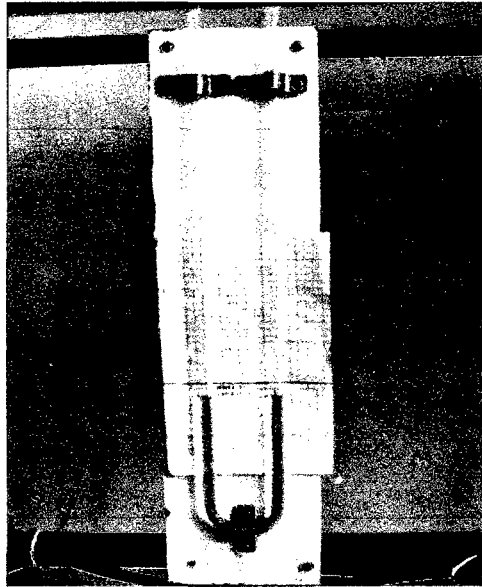


Figura 3.9. Termómetro diferencial en U

Fuente: Secador de bandejas (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

c. Sensores

Características:

- Marca: LM35DZ
- Precisión calibrada: 1°C

- Escala de medida: 0 a 100°C.
- Alimentación: 0.35 – 0.2 voltios.
- Encapsulado: to-92 tipo transistor con 3 patas
- Ganancia: lineal equivale a 10 mV/°C
- Se utilizan: 2 sensores

01 que mide la temperatura de bulbo seco de ingreso del aire al secador.

01 que mide la temperatura de la muestra a secar en la cámara de secado.

3.8.2. TÉCNICAS APLICADAS

La técnica de secado empleada en este experimento es con aire caliente por medio de bandejas estacionarias en la cual el aire atmosférico es calentado en un calentador eléctrico cuya temperatura deseada es fijada por un controlador de temperatura. Los factores claves para un buen secado son entonces:

- Fijar el aire caliente a una temperatura de 40, 50 y 60°C.
- Mantener el aire con un bajo contenido de humedad.
- Mantener el aire con movimiento constante, utilizando únicamente aire virgen, es decir sin recirculación.

Para eliminar la humedad de los alimentos, es necesario que el aire que pasa por los productos esté en constante movimiento y renovación. Esta ventilación se logra mediante el ventilador de tiro forzado.

3.8.3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS APLICADOS

3.8.3.1. Metodología

El método empleado en las pruebas experimentales fue el “gravimétrico”, el mismo que nos permitió determinar la pérdida de peso promedio de las muestras ensayadas ocasionadas por las condiciones de experimentación, con una precisión, al menos, de décimos de miligramo. La determinación de la masa final, tras la exposición en la cámara de secado de cada muestra, se realiza después de verificar un peso constante. Conociendo el peso neto inicial y final de la pulpa de la lúcuma, se calcula la velocidad de secado en función del tiempo.

3.8.3.2. Procedimiento para la recolección de datos experimentales.

El propósito de este procedimiento es definir la secuencia de eventos, acciones, interfaces y responsabilidades involucradas para la toma de datos en la prueba experimental. El alcance de este procedimiento abarca desde la toma de la fruta acondicionada hasta los análisis y la emisión de los resultados.

Durante la realización de las experiencias, que se llevaron a cabo con el sistema de secado de las muestras con transferencia de calor y masa, se recogen datos relativos al peso y temperatura a la que son sometidas cada muestra ensayada. Simultáneamente, se monitorizan las variables estudiadas. Para realizar esta última tarea se utilizaron ficheros de adquisición de datos, elaborados por los autores, para su posterior análisis.

a. Selección y limpieza de la lúcuma fresca

La lúcuma es seleccionada de tal manera que se separa de aquellas que estén malogradas, magulladas o que presenten deficiencias en su superficie y se limpia lavando la fruta con agua potable con la finalidad de eliminar la suciedad y/o restos de residuos adheridos en la superficie de la fruta.

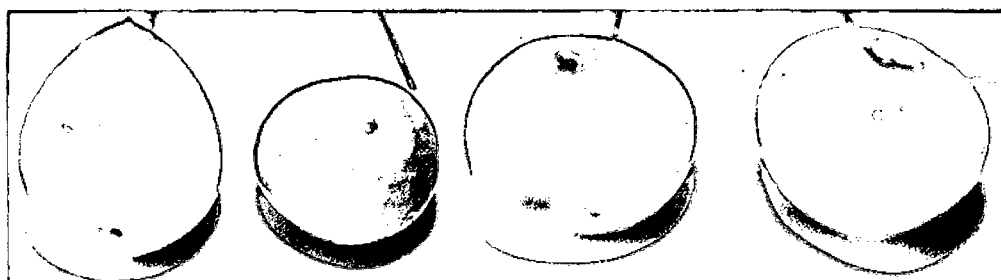


Figura 3.10. Lúcumá seleccionada

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

b. Pelado, corte, pesado y medida de la pulpa

El pelado se llevó a cabo en forma manual (ver figura 3.11.), retirándose la cáscara con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable, luego se corta por la mitad extrayendo la semilla de la lúcuma, para obtener solo la pulpa y posteriormente las rodajas, material que se puso en contacto con una solución de metabisulfito de sodio para evitar el “pardeamiento” u oxidación de la pulpa, cuidando de obtener muestras homogéneas en cuanto a dimensiones de rodajas a fin de optimizar el proceso de secado, siendo colocado estas en las bandejas de acero inoxidable e introducir las a la cámara de secado, y el pesado se realiza con un control de calidad donde se determina las características de la lúcuma, con el fin de determinar el desecho de la merma para obtener el máximo rendimiento de la pulpa.



Figura 3.11. Pelado manual de la lúcura

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

c. Pesaje inicial de las bandejas porta muestra

En una balanza electrónica se pesaron las bandejas porta muestra antes de contener las rodajas de la pulpa de lúcura (ver Figura 3.12.).

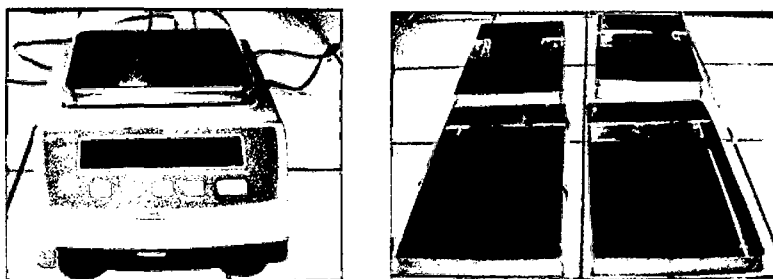


Figura 3.12. Balanza electrónica para el tarado de las bandejas

Fuente: Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG

d. Pesaje de la bandeja conteniendo la muestra examen

Las bandejas conteniendo las muestras examen, fueron pesadas en una balanza electrónica digital (exactitud ± 0.001 g), antes de realizar cada prueba

experimental. El peso bruto inicial fue anotado, para luego deducir el peso de pulpa neta materia del análisis (ver Figura 3.13).

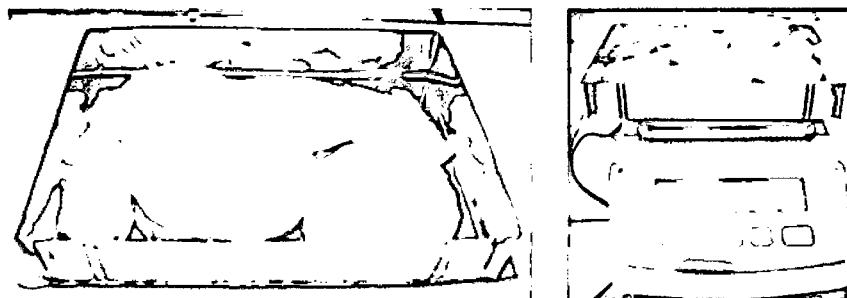


Figura 3.13. Pesado de las muestras

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

e. Preparación del secador de laboratorio

Se prepara el equipo de secado antes de introducir las muestras por ensayar a la cámara de secado e iniciar el secado propiamente dicho. Como por ejemplo encenderlo 15 minutos antes previo a la colocación de las muestras al secador y previa verificación que la temperatura de la cámara de secado es la requerida.



Figura 3.14. Acondicionamiento del secador de bandejas

Fuente: Secador de bandejas (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

f. Ensayos de secado

Se ensayaron 120 muestras, 40 muestras para cada temperatura de ensayo, de las cuales se descartaron 30 muestras. Las temperaturas fijadas para la cámara de secado fueron: 40, 50 y 60°C y tiempos de 20 minutos por cada corrida de secado en el secador de bandejas.

g. Exposición de las bandejas en la cámara de secado

Es la exposición a la que se sometieron cada muestra de ensayo en el interior del secador de bandejas a nivel de laboratorio.

h. Retiro de la bandejas de la cámara de secado

Se retiran las bandejas de la cámara de secado cada 20 minutos de manera adecuada y cuidadosa, teniendo en cuenta la codificación, para tomarles el peso y luego se vuelven a colocar en el interior para continuar eliminando el agua de la pulpa hasta peso constante y proseguir con las demás muestras.



Figura 3.15. Rodajas de lúcumas deshidratadas

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar (Laboratorio de procesos, FIQIA-UNPRG)

i. Pesaje final y determinación de la pérdida de peso

Después de confirmar el peso constante de las muestras ensayadas, según la capacidad de la cámara de secado (cuatro bandejas), se volvieron a pesar las bandejas en una balanza electrónica digital (exactitud ± 0.001 g), registrándose los pesos finales correspondientes.

Luego se calculó la pérdida de peso y la velocidad de secado.

Este procedimiento fue empleado en todas las muestras ensayadas.

j. Metodología de análisis al producto final

- **Determinación de la humedad: método gravimétrico de la estufa**

El objetivo de este análisis es conocer la cantidad de humedad que posee la lúcuma y por ende la materia seca. Se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra por efecto de calentamiento.

Procedimiento:

Se pesa un vaso y se agrega 10 g de lúcuma, colocándolo en la estufa a 100°C durante 3 horas. Se retira y se deja enfriar en el desecador, se pesa y se vuelve a calentar por 15 minutos, se enfría nuevamente en el desecador y se pesa, hasta que alcance su peso constante.

Cálculo:

$$\%H = (P_i - P_f) / P_i \times 100$$

Dónde:

%H= Porcentaje de humedad

P_i = Peso inicial de la muestra

P_f = Peso final de la muestra

- **Determinación de los sólidos solubles**

- Se determinaron mediante la medida de los grados Brix de una solución preparada a partir de harina de lúcuma. Para ello, se disolvieron 5 g de harina de lúcuma en agua, en un vaso de precipitado (A 60°C para conseguir una mejor disolución de los sólidos solubles). Luego se retira el recipiente y se deja enfriar hasta temperatura ambiente. Después se transfiere a una fiola y se completa el volumen con agua hasta 50 ml, y se deja reposar por 3 horas para que puedan sedimentar todos los sólidos insolubles. Finalmente se colocan unas gotas de este extracto en el refractómetro, y se toma la lectura del instrumento en grados Brix.

- **Determinación de la granulometría**

- Se determinó la distribución del tamaño de partícula de la harina de lúcuma. Para ello se realizó el tamizado de muestra de harina a

través de un colador, de modo tal que la fracción más pequeña pase la malla y así sucesivamente. Entonces se obtienen las proporciones de harina de que pasa en el colador para luego pesar el producto final (partículas finas o polvo de la harina de lúcuma) y la harina retenida en el colador (partículas gruesas).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. ENSAYO DEL SECADO DE LA PULPA DE LÚCUMA CON PESOS Y TEMPERATURAS DIFERENTES

El estudio del secado de la pulpa de la lúcuma, se realizó para determinar la velocidad de secado, empleando 3 niveles de pesos de pulpa y 3 niveles de temperaturas: 40, 50 y 60°C, durante 180 minutos, utilizando intervalos de 20 minutos en un secador de bandejas a nivel de laboratorio.

Luego de 180 minutos para cada bloque ensayado, se extrajeron las bandejas de la cámara de secado y se pesó el material remanente, para con la pérdida de masa se calcule la velocidad de secado de cada uno.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.1. y Tabla A1.1. del apéndice.

Tabla 4.1. Velocidad de secado, durante 180 minutos, de la pulpa de lúcuma, expuestos en el secador de bandejas a nivel de laboratorio

Nº	Peso	Temp	Veloc	Nº	Peso	Temp	Veloc	Nº	Peso	Temp	Veloc
1	21.40	40	0.215	31	21.40	50	0.110	61	21.40	60	0.110
2	21.40	40	0.090	32	21.40	50	0.105	62	21.40	60	0.080
3	21.40	40	0.065	33	21.40	50	0.075	63	21.40	60	0.075
4	21.40	40	0.035	34	21.40	50	0.055	64	21.40	60	0.065
5	21.40	40	0.035	35	21.40	50	0.055	65	21.40	60	0.055
6	21.40	40	0.025	36	21.40	50	0.040	66	21.40	60	0.040
7	21.40	40	0.025	37	21.40	50	0.040	67	21.40	60	0.040
8	21.40	40	0.010	38	21.40	50	0.035	68	21.40	60	0.035
9	21.40	40	0.005	39	21.40	50	0.025	69	21.40	60	0.025
10	21.40	40	0.000	40	21.40	50	0.000	70	21.40	60	0.000
11	22.50	40	0.205	41	22.50	50	0.015	71	22.50	60	0.015
12	22.50	40	0.085	42	22.50	50	0.105	72	22.50	60	0.105
13	22.50	40	0.075	43	22.50	50	0.070	73	22.50	60	0.080
14	22.50	40	0.035	44	22.50	50	0.065	74	22.50	60	0.065
15	22.50	40	0.040	45	22.50	50	0.055	75	22.50	60	0.055
16	22.50	40	0.030	46	22.50	50	0.040	76	22.50	60	0.040
17	22.50	40	0.025	47	22.50	50	0.030	77	22.50	60	0.030
18	22.50	40	0.020	48	22.50	50	0.030	78	22.50	60	0.025
19	22.50	40	0.013	49	22.50	50	0.025	79	22.50	60	0.025
20	22.50	40	0.000	50	22.50	50	0.000	80	22.50	60	0.000
21	25.00	40	0.170	51	25.00	50	0.165	81	25.00	60	0.165
22	25.00	40	0.075	52	25.00	50	0.085	82	25.00	60	0.085
23	25.00	40	0.055	53	25.00	50	0.060	83	25.00	60	0.070
24	25.00	40	0.030	54	25.00	50	0.045	84	25.00	60	0.060
25	25.00	40	0.025	55	25.00	50	0.045	85	25.00	60	0.045
26	25.00	40	0.026	56	25.00	50	0.045	86	25.00	60	0.045
27	25.00	40	0.015	57	25.00	50	0.035	87	25.00	60	0.035
28	25.00	40	0.015	58	25.00	50	0.075	88	25.00	60	0.025
29	25.00	40	0.015	59	25.00	50	0.045	89	25.00	60	0.020
30	25.00	40	0.000	60	25.00	50	0.000	90	25.00	60	0.000

Nº = Número de muestra examen

Peso = Peso inicial de la muestra de lúcuma, gramos

Temp = Temperatura de la cámara de secado, °C

Veloc = Velocidad de secado, g agua/min

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

4.2.1. Distribución normal de la probabilidad o distribución normal de la velocidad de secado a 40°C

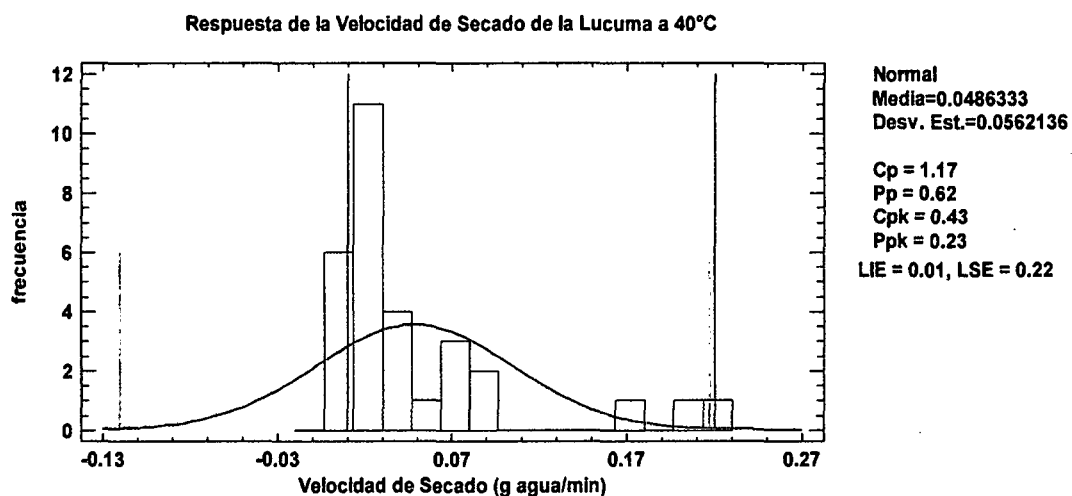


Figura 4.1. Respuesta de la velocidad de secado a 40°C

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

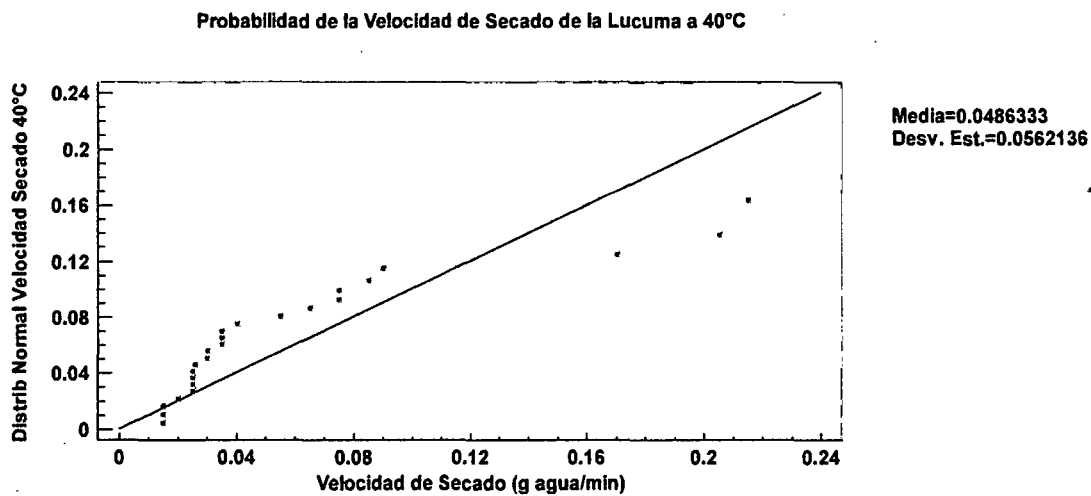


Figura 4.2. Probabilidad de la velocidad de secado a 40°C

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

4.2. DISTRIBUCIÓN NORMAL EN LA VS (VELOCIDAD DE SECADO) DE LA LÚCUMA

Por lo tanto, de las Figuras 4.2., 4.4. y 4.6., podemos observar que efectivamente el histograma muestra aproximadamente una curva simétrica semejante a la correspondiente a una distribución normal.

Además, si analizamos los parámetros estadísticos vemos que la media de la Figura 4.1., 4.3. y 4.5. (0.0486333, 0.0525 y 0.0505), toma valores bastantes cercanos, lo cual propicia también que la distribución se aproxima a una normal para las 90 muestras (30 muestras por bloque).

Como se observa en la Figura 4.2., 4.4. y 4.6., la mayoría de los puntos se encuentran sobre la línea,, lo cual indica que estos datos obtenidos se pueden aproximar por una distribución normal.

Teniendo en cuenta la media y la distribución estándar obtenida en la investigación, al simular con el Software Estadístico Centurión XVI, los resultados de las velocidades de secado en las 90 muestras durante 180 minutos por bloque y comprobar mediante un gráfico de normalidad que, efectivamente, estos siguen una distribución normal.

4.2.2. Distribución normal de la probabilidad o distribución normal de la velocidad de secado a 50°C

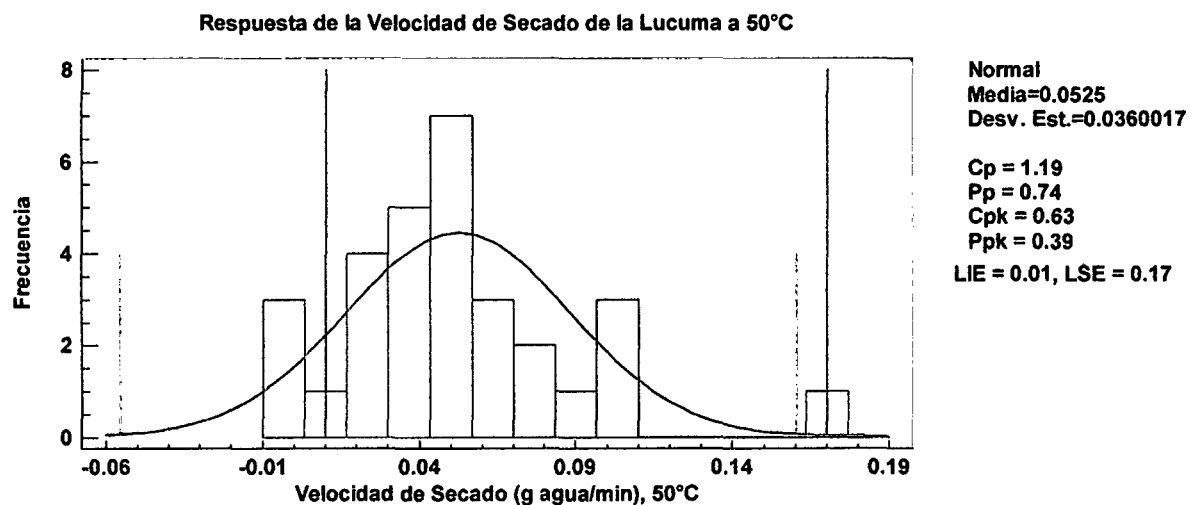


Figura 4.3. Respuesta de la velocidad de secado a 50°C

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

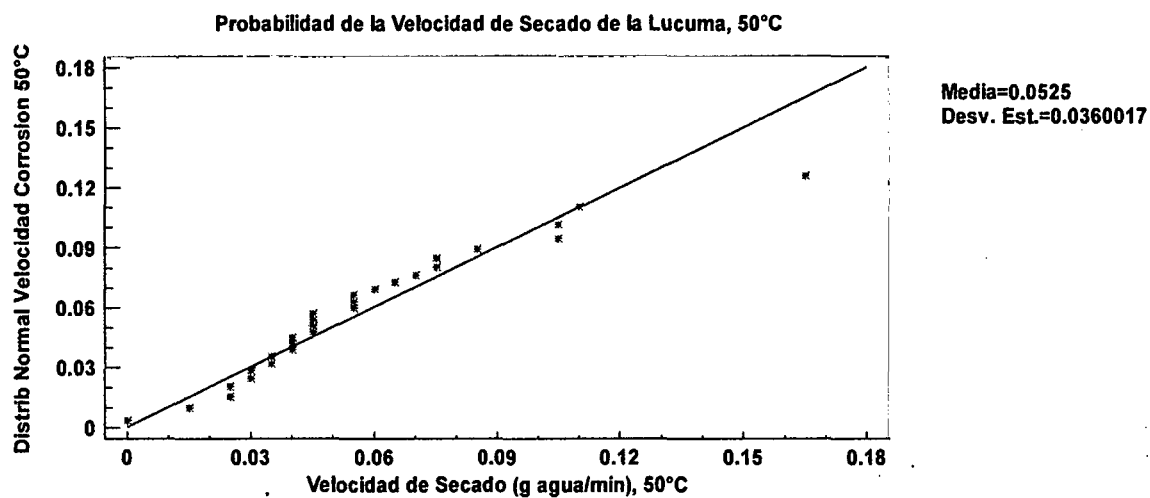


Figura 4.4. Probabilidad de la velocidad de secado a 50°C

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

4.2.3. Distribución normal de la probabilidad o distribución normal de la velocidad de secado a 60°C

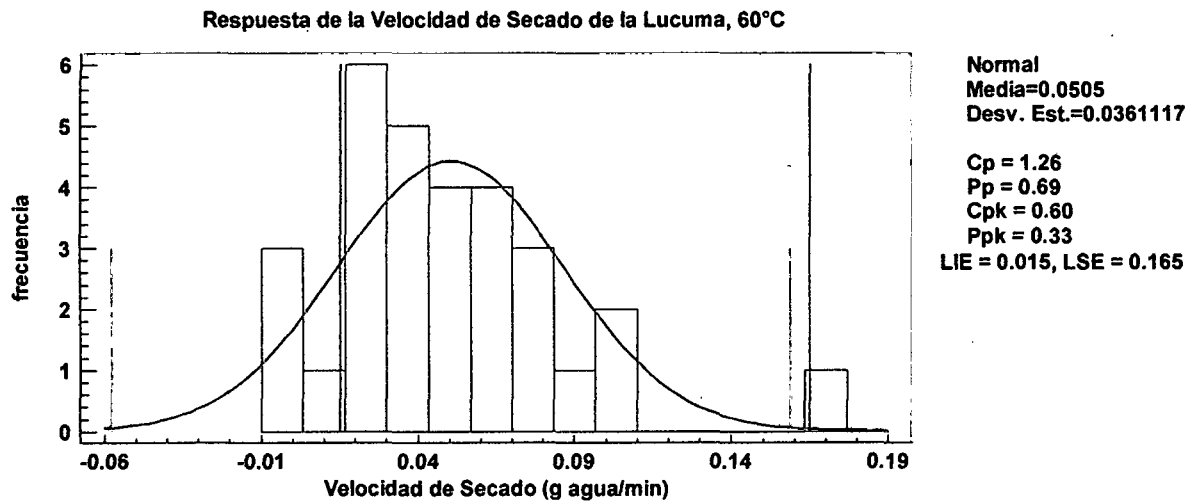


Figura 4.5. Respuesta de la velocidad de secado a 60°C

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

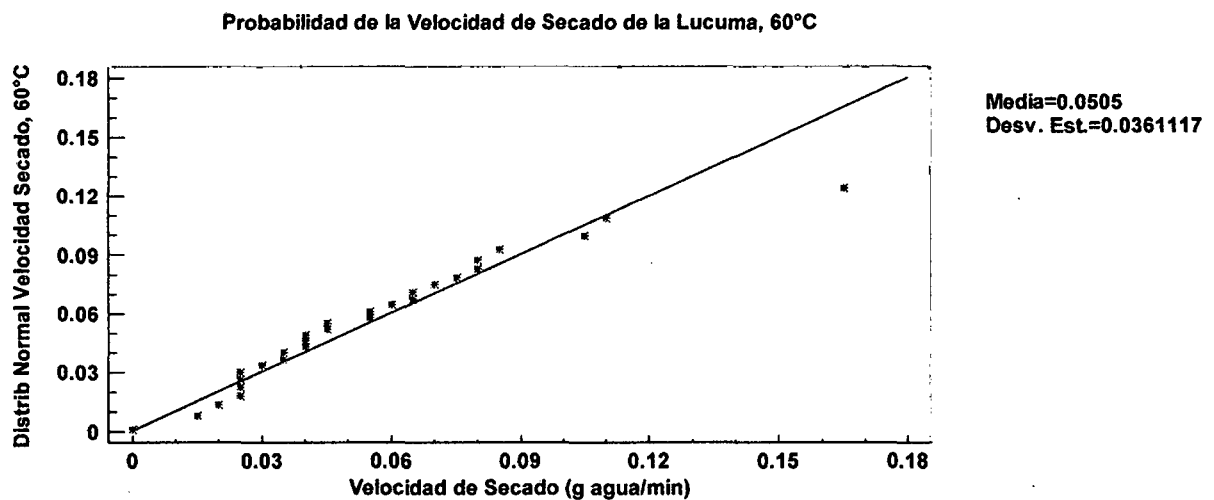


Figura 4.6. Probabilidad de la velocidad de secado a 60°C

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

4.3. RESULTADOS DE LA VELOCIDAD DE SECADO DE 90 MUESTRAS EXAMEN DE LÚCUMA

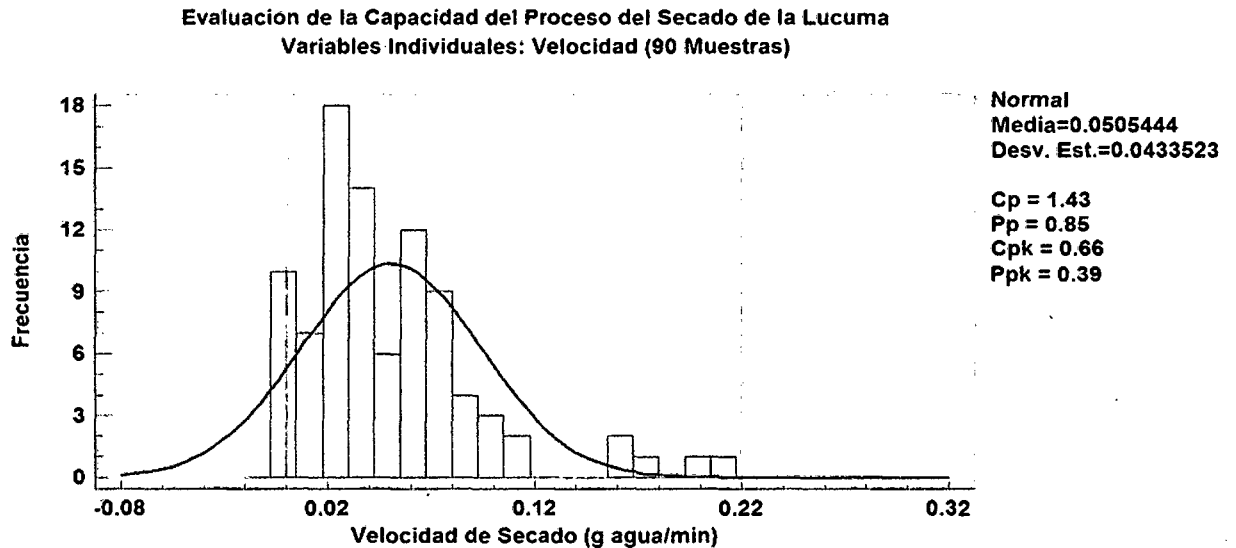


Figura 4.7. Capacidad del proceso de secado de 90 muestras

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

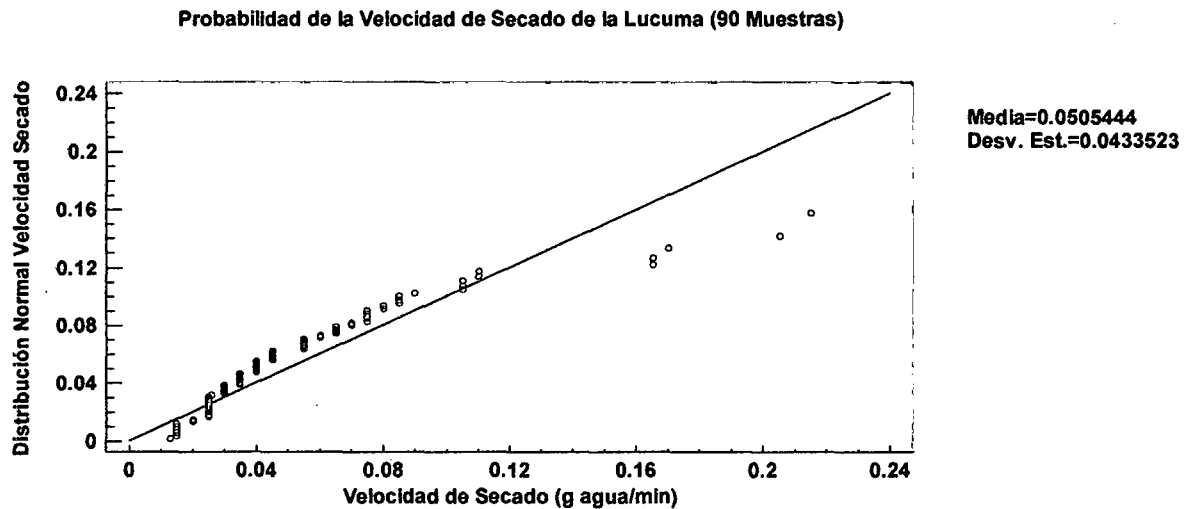


Figura 4.8. Probabilidad de la velocidad de secado de 90 muestras

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

4.4. RESULTADOS DE LA VELOCIDAD DE SECADO A 40°, 50° Y 60°C

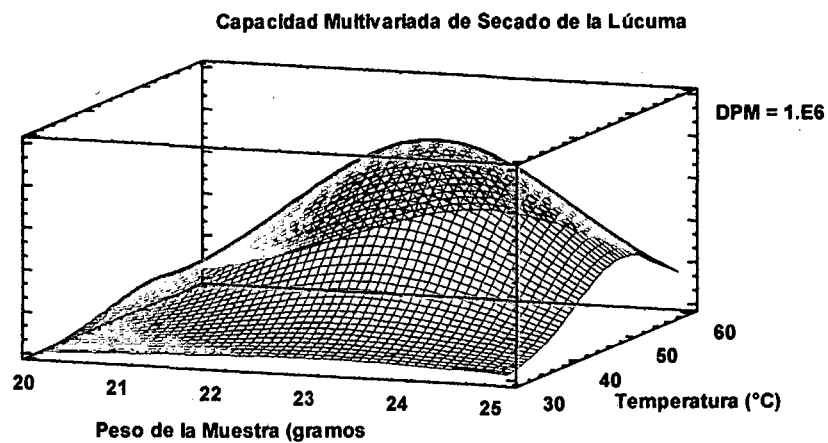


Figura 4.9. Capacidad del proceso de secado multivariada

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

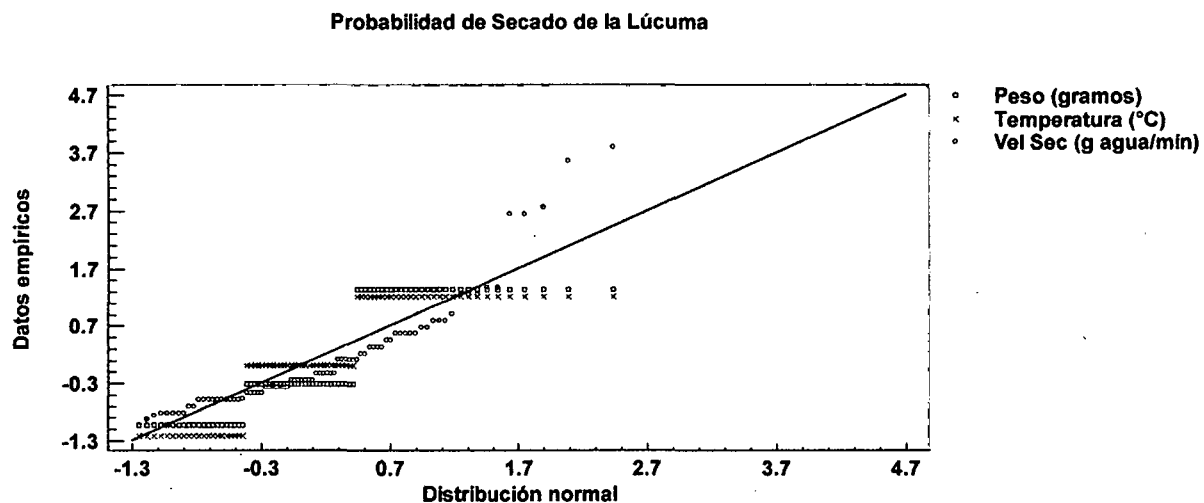


Figura 4.10. Probabilidad de la velocidad de secado multivariable

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

4.5. EL EFECTO DEL PESO DE LA PULPA Y LA TEMPERATURA A LA VELOCIDAD DE SECADO

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para la velocidad de secado. Realiza varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la velocidad de secado. También evalúa la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA le permitirán identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, las pruebas de rangos múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La figura de medias y la figura de Interacciones le ayudarán a interpretar los efectos significativos.

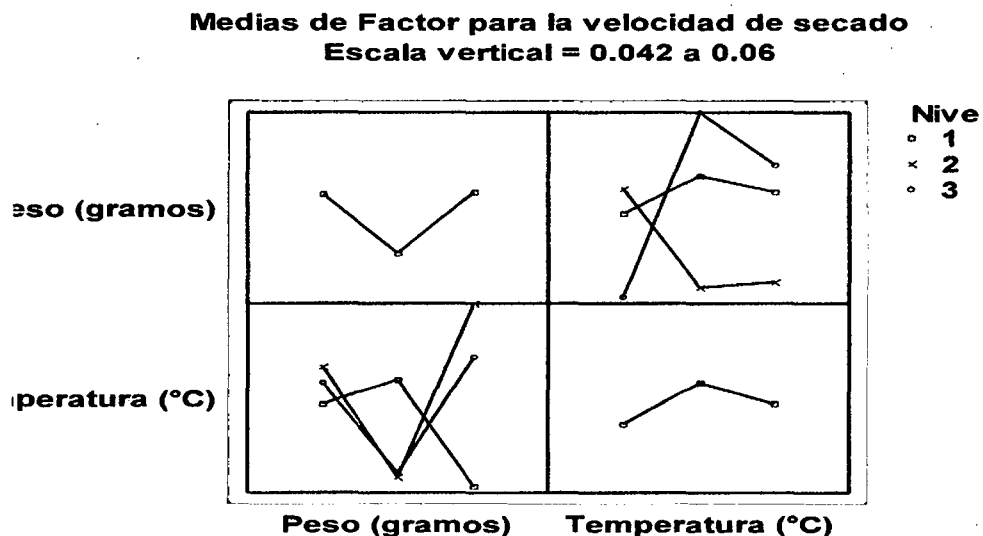


Figura 4.11. Medias de factor para la velocidad de secado
Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

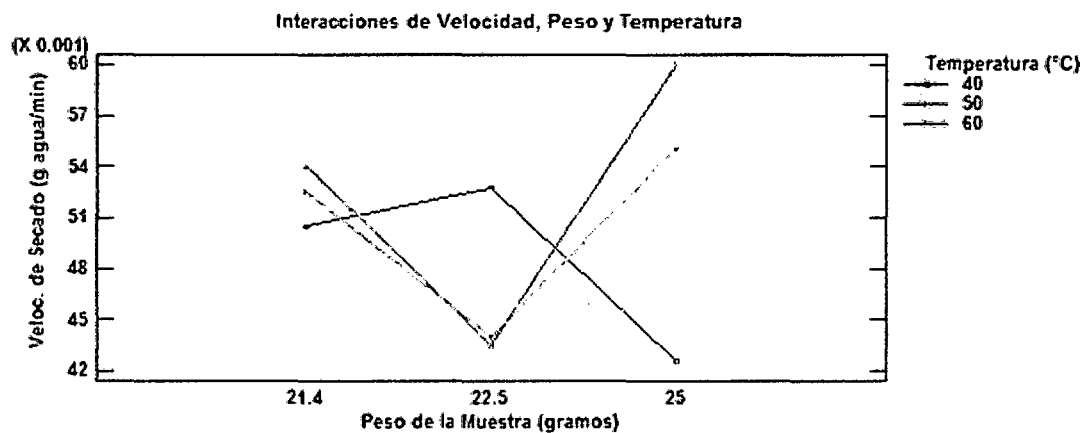


Figura 4.12. Interacciones de peso y la temperatura en la VS

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

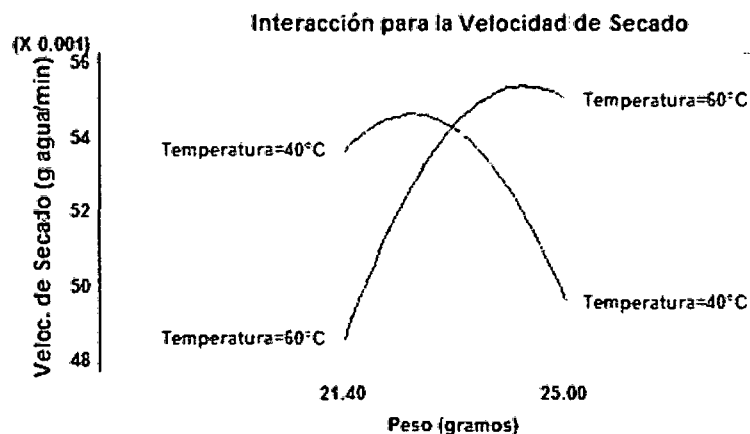


Figura 4.13. Interacción del peso y la temperatura en la VS

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

La Tabla 4.2. presenta las contribuciones debidas a varios factores. La contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que

ningún valor-P es menor que 0.05, ninguno de los factores o interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la velocidad de secado con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 4.2. Análisis de varianza para la velocidad de secado

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos Principales					
A: Peso	0.000642822	2	0.000321411	0.16	0.8538
B: Temperatura	0.000224356	2	0.000112178	0.06	0.9463
Interacciones					
AB	0.00198964	4	0.000497411	0.25	0.9119
Residuos	0.164411	81	0.00202977		
TOTAL (Corregido)	0.167268	89			

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

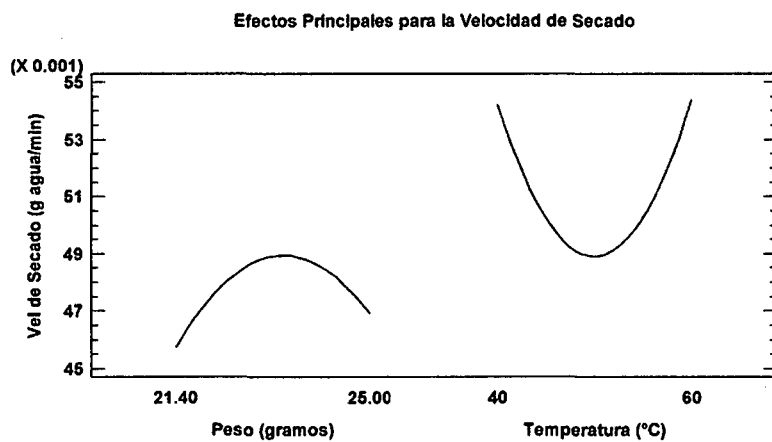


Figura 4.14. Efectos principales del peso y la temperatura

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

4.6. CONSTRUCCIÓN Y VERIFICACIÓN DEL MODELO DE LA VELOCIDAD DE SECADO

La técnica del análisis de regresión lineal múltiple se utilizó para modelar y determinar en forma matemática el comportamiento de la velocidad de secado (VS) en función de las dos variables independientes (factores) como el peso y la temperatura. Los resultados obtenidos describen la relación entre la velocidad de secado de la lúcuma y dos variables independientes. La ecuación del modelo ajustado se presenta a continuación.

4.6.1. Modelo de la ecuación ajustada para la vs de la lúcuma

Dadas las características de las variables bajo estudio y la metodología de análisis multivariado empleada, la relación entre el peso de la pulpa y la temperatura de secado, quedó determinada por un modelo de tipo lineal simple, teniendo en cuenta que este resultado tiene la limitancia propia de los datos a escala de laboratorio. La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos es la siguiente:

$$Y = - 0.0836152 + 0.0300283 \cdot P - 0.00879167 \cdot T - 0.000797325 \cdot P^2 + 0.000145833 \cdot P \cdot T + 0.0000541667 \cdot T^2$$

Dónde:

Y = Velocidad de secado, g agua/min

P = Peso de la pulpa de lúcuma, gramos

T = Temperatura en la cámara de secado, °C

La Tabla 4.3., de ANOVA particiona la variabilidad de la velocidad de secado (Y) en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia

estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla 4.3 Análisis de la ANOVA para la velocidad de secado

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Peso	0.00000204167	1	0.00000204167	0.03	0.8670
B:Temperatura	4.16667E-8	1	4.16667E-8	0.00	0.9809
AA	0.0000133472	1	0.0000133472	0.22	0.6730
AB	0.0000275625	1	0.0000275625	0.45	0.5510
BB	0.0000586806	1	0.0000586806	0.95	0.4006
Error total	0.000184382	3	0.0000614606		
Total (corr.)	0.000286056	8			

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

R-cuadrada = 35.5433 por ciento

R-cuadrada (ajustada por GL) = 0.0 por ciento

Error estándar del estimado = 0.00783968

Error absoluto medio = 0.00373148

Estadístico Durbin-Watson = 2.00685 (P=0.6236)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.167556

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 35.5433% de la variabilidad en Y. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes,

es 0.0%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.00783968. El error medio absoluto (MAE) de 0.00373148 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

La Figura 4.15. y 4.16., presentan las gráficas de contorno y de superficie de respuesta de la velocidad de secado respectivamente. La respuesta ha sido ensayada para dos niveles de cada variable bajo 21.40 g y alto 25.00 g para el peso inicial de pulpa de lúcuma y para la temperatura bajo 40°C y alto 60°C. Examinando las respuestas tal como se presentan en la Figura 4.15. y 4.16., la velocidad de secado (Y), no es favorecida por el peso de la pulpa ni por la temperatura de secado.

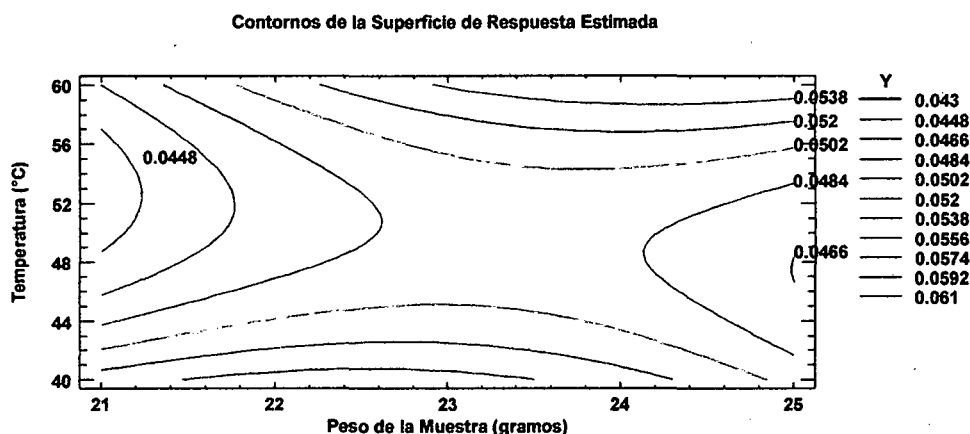


Figura 4.15. Contornos de la superficie de respuesta estimada de la velocidad de secado
Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

La Figura 4.16., no muestra como varía la velocidad de secado (Y) como

función del peso de la muestra y la temperatura de la cámara, nótese que el valor de la velocidad de secado disminuye cuando el peso de la pulpa sube independiente del valor de la temperatura.

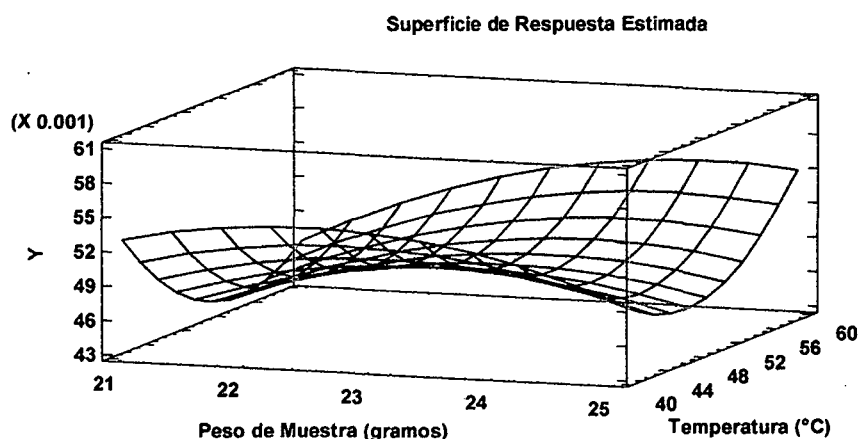


Figura 4.16. Superficie de respuesta estimada de la VS

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla 4.4. Velocidad de secado (g agua/min) a diferentes pesos de pulpa y temperaturas de secado durante intervalos de 180 minutos

Bloque	Peso (g) Temp. (°C)	21.40	22.50	25.00
1	40	0.0510	0.0540	0.0525
1	40	0.0500	0.0536	0.0530
1	40	0.0530	0.0544	0.0520
2	50	0.0540	0.0435	0.0600
2	50	0.0536	0.0436	0.0565
2	50	0.0544	0.0434	0.0635
3	60	0.0430	0.0600	0.0550
3	60	0.0440	0.0580	0.0560
3	60	0.0420	0.0620	0.0540

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

CONCLUSIONES

- Se obtuvo harina de lúcuma utilizando el proceso de secado por bandeja, por un solo tipo de corte en hojuelas y por molienda, en el cual el producto obtenido a través del secado, conservó las mismas características organolépticas del producto fresco, excepto que la textura (pastosa) de la fruta pasó a ser suave y crujiente.
- En la determinación de la velocidad de secado se emplearon 3 niveles de pesos de pulpa y 3 niveles de temperaturas (40, 50 y 60°C), durante 180 minutos, utilizando intervalos de 20 minutos en un secador de bandejas a nivel de laboratorio.
- Podemos deducir que existe una interacción entre el peso de la lúcuma y la temperatura del aire caliente, que tendrán un efecto en la velocidad del secado.
- En la ecuación empírica desarrollada, las respuestas tal como se muestran en las Figura 4.15. y 4.16., la velocidad de secado (Y), no es favorecida por el peso de la pulpa ni por la temperatura de secado.
- En el caso de la lúcuma, cuando es expuesto al aire se comienza a oscurecer, es decir se produce el pardeamiento enzimático por lo que es necesario aplicar un pre-tratamiento para evitar este tipo de reacción. Asimismo se sumergió la materia prima en una solución de metabisulfito de potasio: solución de 80 partes por millón (ppm).

RECOMENDACIONES

- Es necesario la implementación del Laboratorio de Procesos Unitarios, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la UNPRG, con equipos secadores o un atomizador para poder realizar las muestras de secado en condiciones óptimas.
- Se recomienda que el secador de bandejas a nivel de laboratorio tenga un control de tiempo y el digital de temperatura estable, para cuando se empiece hacer las muestras de los productos a deshidratar se pueda trabajar con los mínimos errores en los resultados de la velocidad de secado.
- Mejorar la calidad del tamizado a escala de laboratorio para evitar partículas extrañas como tierra, pajas y/o raíces de la misma lúcuma.
- Es conveniente que la materia prima (Lúcuma) al ser seleccionada este en buen estado de madurez para evitar pérdidas en la pulpa y el rendimiento de la harina de lúcuma.
- Conocer las partidas arancelarias específicas para los derivados de la lúcuma para mejorar calidad de información y a la vez no debemos perder de vista otros mercados emergentes como el chileno, ya que es el segundo país a donde gran parte de lo que exportamos se destina.

GLOSARIO

Deshidratación: La deshidratación es la alteración de agua y sales minerales en el plasma de un cuerpo. Puede producirse por estar en una situación de mucho calor (sobre todo si hay mucha humedad), ejercicio intenso, falta de bebida o una combinación de estos factores. También ocurre en aquellas enfermedades donde está alterado el balance hidroelectrolítico. Básicamente, esto se da por falta de ingestión o por exceso de eliminación de agua.

Granulometría: La granulometría, de "gránulo" (pequeño grano), trata de los métodos de medición del tamaño de un grano y por extensión de una población de granos. Se entiende por "grano" en sentido general a un trozo de materia sólida o líquida, esférica o no, que se encuentre en un fluido inmiscible. Un "grano" puede ser no solamente un grano de arena o de polvo, sino también una gota en una emulsión o un aerosol, una partícula sólida de ceniza en un humo, una burbuja de gas en una espuma, etc.

Atomización: El principio de base del secado por atomización es la producción de un polvo fino y homogéneo obtenido a partir de un producto líquido por evaporación del agua. Este proceso se realiza en una cámara de secado, mezclando gas caliente con un líquido pulverizado (atomizado) que contiene gotitas de tamaño idéntico, con una relación entre masa y volumen elevado. Así se evapora rápidamente el solvente y de manera uniforme por contacto directo.

Pulverización: La pulverización catódica está causada principalmente por el intercambio de momento entre los iones y los átomos del material, debido a colisiones. Se puede pensar en el proceso como una partida de billar a nivel atómico, con los iones (bola blanca) golpeando una agrupación de átomos densamente empaquetados (bolas de billar). Aunque la primera colisión empuja a los átomos más hacia dentro en la agrupación, colisiones posteriores entre los átomos pueden tener como resultado que algunos de los átomos cerca de la superficie sean expulsados.

Secado: En general se entiende por secado la separación de humedad de sólidos, líquidos o gases. Para el secado de gases y de líquidos se aplica generalmente la adsorción. Un campo de aplicación típico del secado de sólidos es el de la tecnología de alimentos. En el caso del secado térmico de sólidos se extrae la humedad del material por vaporización. La evolución del secado depende de la forma en que esté presente la humedad en el material. Al principio se evapora el líquido adherido a la superficie del material a secar.

Pulpa: Es la parte comestible de las frutas o el producto obtenido de la separación de las partes comestibles carnosas de estas mediante procesos tecnológicos adecuados. Además, es el producto pastoso, no diluido, ni concentrado, ni fermentado, obtenido por la desintegración y tamizado de la fracción comestible de frutas frescas, maduras y limpias. Durante el proceso de las pulpas se utilizan diferentes técnicas, entre las cuales se destaca la congelación; la pulpa de frutas presenta ventajas sobre las frutas frescas y sobre otro tipo de conservas.

Harina: La harina se obtiene por la molienda de los granos entre piedras de molino o ruedas de acero que puede ser impulsada por fuerza animal o por el simple aprovechamiento de las fuerzas naturales: ríos, viento, etc. En la actualidad se muele con maquinaria eléctrica, aunque se venden pequeños molinos manuales y eléctricos. Existen distintos tipos de harinas. Sin embargo, existen muchos otros tipos de harinas. Las harinas tienen múltiples aplicaciones en la industria alimentaria y se utilizan habitualmente en repostería, mezcladas con grasas, aceites y azúcar.

Humedad: Todos los alimentos, cualquiera que sea el método son industrializados a que haya sido sometido, contiene agua. Las cifras de contenido en agua varían entre 60 y 95% en los alimentos naturales. El agua existe en dos formas generales: "agua libre" y "agua ligada". El agua libre o absorbida, que es forma predominante, se libera

con facilidad y es estimada en la mayor parte de los métodos usados para el cálculo de contenido de agua. El agua ligada se halla combinando o absorbida. Se encuentra en los alimentos con agua de cristalización (hidrato) o ligada a las proteínas. Parte de la misma permanece ligada al alimento incluso a la temperatura que lo carboniza.

Conservación: El concepto general de la conservación en los alimentos es prevenir o evitar el desarrollo de microorganismos (bacterias, levaduras y mohos), para que el alimento no se deteriore durante el almacenaje. Al mismo tiempo, se deben controlar los cambios químicos y bioquímicos que provocan deterioro. De esta manera, se logra obtener un alimento sin alteraciones en sus características organolépticas, y puede ser consumido sin riesgo durante un cierto período. Recientemente, ha habido muchas innovaciones en los procesos industriales de alimentos.

Evaporación: La evaporación es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial. A diferencia de la ebullición, la evaporación se puede producir a cualquier temperatura, siendo más rápido cuanto más elevada sea esta. No es necesario que toda la masa alcance el punto de ebullición. Cuando existe un espacio libre encima de un líquido, una parte de sus moléculas está en forma gaseosa, al equilibrarse, la cantidad de materia gaseosa define la presión de vapor saturante, la cual no depende del volumen, pero varía según la naturaleza del líquido y la temperatura.

Desecador: Un desecador es un instrumento de laboratorio que se utiliza para mantener limpia y deshidratada una sustancia por medio del vacío. Está fabricado con un vidrio muy grueso y en él se distinguen dos cavidades, la primera cavidad más grande y superior, permite poner a secar la sustancia, y la otra cavidad inferior se usa para poner el desecante, más comúnmente gel de sílice.

REFERENCIA

BIBLIOGRÁFICA

- [1] Álvarez Huamaní, Zoila; Bravo Cárdenas, Luis Enrique; Tagami Oshita, Richard. "Plan de negocios para la industrialización y exportación de lúcuma de seda". Lima, Universidad ESAN, 2006. – MAP 36.
- [2] Balbi, Mariella (2003). Lucuma, a legacy with a pre-Hispanic flavour. Lima: Prolucuma.
- [3] Barbosa-Cánovas, Gustavo V., Vega-Mercado, Humberto. "Deshidratación de Alimentos", 2000. Editorial Acribia. España. pág. 166.
- [4] Barrena Gurbillón, Miguel Ángel; Maicelo Quintana, Jorge Luis; Gamarra Torres, Oscar Andrés & Cárdenas Alayo, Ranulfo Donato; "Cinética de Secado de Lúcuma (*Pouteria lucuma* L.)"; Diciembre 2009.
- [5] Brenner K., Manuel. "Ensayo de deshidratación de lúcuma (*Lúcuma obovata* H.P.K)", 1965. Tesis UNALM.
- [6] Cabrera, J. "Proyecto de pre factibilidad para la implementación de una planta de producción de harina de lúcuma. Ciclo optativo de profesionalización y especialización en gestión agrícola empresarial", 2002. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- [7] Cisneros V. Fausto. "Contribución al estudio de la Biología y propagación de la lúcuma (*Lucuma obovata* H.P.K)", 1959. Escuela de Agricultura, La Molina.
- [8] Del Castillo Málaga, Riky Alfonso. Tesis: "Estudio técnico de la producción de harina de lúcuma en la sierra de Piura", 2006.
- [9] Kasatkin A. " Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química. T-I./pág 262-366.

- [10] Lavado Soto, Mooner Aurelio; Yenque Dedios, Julio Antolín; Robles Calderón, Roberto; "Estudio de rendimiento de harina de lúcuma a partir del fruto fresco"; vol. 15, núm. 1, enero-junio, 2012, pp. 127-130; Universidad Nacional Mayor de San Marcos; Lima - Perú.
- [11] Malca G., Oscar. "Seminario de Agro Negocios", 2000. Universidad del Pacífico. Lima- Perú. pág. 14.
- [12] Maldonado Alata, Ruth Elena; "Obtención de Lúcuma (*Pouteria Obovata*) en Polvo por atomización"; Universidad Nacional de Ingeniería; Lima - Perú.
- [13] Morton, Julia F. (1987). "Fruits of warm climates". Miami: Creative Resource Systems. ISBN 0-9610184-1-0.
- [14] National Research Council (1989). *Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes With Promise for Worldwide Cultivation*. Washington DC: National Academies Press.
- [15] Prolúcuma. Proyecto Cultivo e Industrialización de la Lúcuma y otras frutas "Bandera" del Perú. Lima, Perú: PROINVERSION.
- [16] Salas Vizcarra Álvaro Karin. Tesis: "Industrialización y comercialización de harina de lúcuma". 2012.
- [17] Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" de Ica, Facultad de Ingeniería Química. Tesis: "Determinación de los parámetros, en el secado de lúcuma (*Pouteria obovata*)". Ica-Perú, 2008.

— LINKOGRAFÍA

- http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1486/ING_443.pdf?sequence=1
- https://www.up.edu.pe/carrera/administracion/SiteAssets/Lists/JER_Jerarqui/EditForm/12lucuma.pdf
- http://www.regionpiura.gob.pe/documentos/boletines/boletin_virtual_GRP_31.pdf
- <http://ebookbrowse.net/optimizacion-de-un-prototipo-de-secador-solar-para-secado-de-lucuma-en-ayacucho-pdf-d60411363>
- http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_161_186_112_1552.pdf
- <http://www.unjbg.edu.pe/coin2/pdf/01010801304.pdf>
- <http://www.monografias.com/trabajos52/lucuma-derivados/lucuma-derivados2.shtml>
- <http://www.monografias.com/trabajos45/produccion-lucuma-peru/produccion-lucuma-peru2.shtml#ixzz3So6Ng3ei>
- <http://www.mincetur.gob.pe/comercio/otros/penx/pdfs/Lucuma.pdf>
- <http://www.esan.edu.pe/paginas/publicaciones/cuadernos/21/AlvarezBravo.pdf>
- http://www.slideshare.net/maryshell_12/la-lucuma
- <http://es.scribd.com/doc/151381088/Mi-Proyecto-de-Lucuma-3>
- <http://www.unjbg.edu.pe/coin2/pdf/01010801304.pdf>
- <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/251/1/96T00118.pdf>

APÉNDICE

APÉNDICE I

1. PROCESAMIENTO MATEMATICO DE DATOS

1.1. Datos

Las pruebas de ensayo se realizaron en el Laboratorio de Procesos Unitarios, Facultad de Ingeniería Química e Industria Alimentarias de la UNPRG, ubicada en Lambayeque Calle Juan XXIII, 391; para la toma de datos se utilizó un secador de bandejas, provisto de un calentador eléctrico de aire. Los datos tomados nos permitieron determinar las condiciones iniciales y las variables de proceso para poder alcanzar los objetivos de este trabajo de investigación.

Para construir las curvas de secado los datos han sido tabulados, tanto en las condiciones iniciales, durante el proceso y en los momentos finales.

Para esto se utilizó la siguiente ecuación:

$$X_{bs} = \frac{M_t - M_{ss}}{M_{ss}}$$

Donde:

X_{bs} = Humedad en base seca

M_t = Masa del alimento húmedo para cada tiempo

M_{ss} = Masa del sólido seco

Tabla A1.1. Resultados de pruebas de secado de pulpa de lúcum a 50°C

Número de Prueba	Código de Prueba	Tiempo de secado θ (min)	Peso de la pulpa lúcum (g)
1	1 - I	0	25.00
2	2 - I	20	21.70
3	3 - I	40	20.00
4	4 - I	60	18.80
5	5 - I	80	17.90
6	6 - I	100	17.00
7	7 - I	120	16.10
8	8 - I	140	15.40
9	9 - I	160	13.90
10	10 - I	180	13.00
11	1 - II	0	24.50
12	2 - II	20	22.90
13	3 - II	40	21.10
14	4 - II	60	20.00
15	5 - II	80	19.40
16	6 - II	100	18.60
17	7 - II	120	17.80
18	8 - II	140	17.20
19	9 - II	160	16.80
20	10 - II	180	13.80
21	1 - III	0	22.50
22	2 - III	20	22.20
23	3 - III	40	20.10
24	4 - III	60	19.20
25	5 - III	80	17.90
26	6 - III	100	16.80
27	7 - III	120	16.00
28	8 - III	140	15.40
29	9 - III	160	14.90
30	10 - III	180	12.70
31	1 - IV	0	21.40
32	2 - IV	20	19.20
33	3 - IV	40	18.10
34	4 - IV	60	16.60
35	5 - IV	80	15.50
36	6 - IV	100	14.40
37	7 - IV	120	13.60
38	8 - IV	140	12.80
39	9 - IV	160	12.10
40	10 - IV	180	11.60

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

1.2. Datos adicionales

Tabla A1.2. Datos de la pulpa de lúcumá

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad de pulpa		
Peso constante a 100°C	9.100	g
Humedad de pulpa	90.900	%
Agua en la pulpa	90.900	g
Densidad aire a 27°C		Kg/m ³

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

1.3. Cálculos

1.3.1. Cálculo de la humedad W

Para el cálculo de la humedad W , se utilizó la ecuación 2.1

$$W_{bs} = \frac{25.00 - 9.10}{9.10} = 1.74725 \text{ g agua/g s.s.}$$

$$W_{bs} = 1.75 \text{ g agua/g s.s.}$$

1.3.2. Cálculo de la humedad media: \bar{W}

$$\bar{W} = \frac{W_1 + W_2}{2}$$

$$\bar{W} = \frac{1.75 + 1.38}{2}$$

$$\bar{W} = 1.565 \text{ g agua/g s.s.}$$

1.3.3. Cálculo de la velocidad de secado: V_s

$$V_s = \frac{W_1 - W_2}{\theta_2 - \theta_1}$$

$$V_s = \frac{15.90 - 12.60}{20 - 0.00}$$

$$V_s = 0.165 \text{ g agua/minuto}$$

$$V_s = \frac{S}{A} \left(\frac{\Delta W}{\Delta \theta} \right)$$

Dónde:

S = sólido seco..... : 9.10 g sól seco

A = Superficie expuesta al secado : 0.0194 m²

ΔW = Variación humedad base seca. : (15.90–12.60) g agua

$\Delta \theta$ = Variación tiempo de secado : (20–0.00) = 20 min

A y S permanecen constantes durante todo el proceso.

$$V_s = \frac{9.10}{0.0194} \left(\frac{3.3}{20} \right) = 77.396 \text{ g agua/m}^2\text{min}$$

1.3.4. Cálculo de $1/V_s$

$$1/V_s = 1/0.165 = 6.0606 \text{ minutos/g agua}$$

1.4. Resultados

Tabla A1.3. Resultados de pruebas de secado de pulpa de lúcuma a 50°C

Número de Prueba	Código de Prueba	Humedad (W) g agua/g s.s.
1	1 - I	1.7473
2	2 - I	1.3846
3	3 - I	1.1978
4	4 - I	1.0659
5	5 - I	0.9670
6	6 - I	0.8681
7	7 - I	0.7692
8	8 - I	0.6923
9	9 - I	0.5275
10	10 - I	0.4286
11	1 - II	1.6923
12	2 - II	1.5165
13	3 - II	1.3187
14	4 - II	1.1978
15	5 - II	1.1319
16	6 - II	1.0440
17	7 - II	0.9560
18	8 - II	0.8901
19	9 - II	0.8462
20	10 - II	0.5165
21	1 - III	1.4725
22	2 - III	1.4396
23	3 - III	1.2088
24	4 - III	1.1099
25	5 - III	0.9670
26	6 - III	0.8462
27	7 - III	0.7582
28	8 - III	0.6923
29	9 - III	0.6374
30	10 - III	0.3956
31	1 - IV	1.3516
32	2 - IV	1.1099
33	3 - IV	0.9890
34	4 - IV	0.8242
35	5 - IV	0.7033
36	6 - IV	0.5824
37	7 - IV	0.4945
38	8 - IV	0.4066
39	9 - IV	0.3297
40	10 - IV	0.2747

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla A1.4. Datos par gráfica la humedad en función del tiempo a 50°C

Número de Prueba	Código de Prueba	Tiempo de secado θ (min)	Humedad (W) g agua/g s.s
1	1 - I	0	1.75
2	2 - I	20	1.38
3	3 - I	40	1.20
4	4 - I	60	1.07
5	5 - I	80	0.97
6	6 - I	100	0.87
7	7 - I	120	0.77
8	8 - I	140	0.69
9	9 - I	160	0.53
10	10 - I	180	0.43
11	1 - II	0	1.69
12	2 - II	20	1.52
13	3 - II	40	1.32
14	4 - II	60	1.20
15	5 - II	80	1.13
16	6 - II	100	1.04
17	7 - II	120	0.96
18	8 - II	140	0.89
19	9 - II	160	0.85
20	10 - II	180	0.52
21	1 - III	0	1.47
22	2 - III	20	1.44
23	3 - III	40	1.21
24	4 - III	60	1.11
25	5 - III	80	0.97
26	6 - III	100	0.85
27	7 - III	120	0.76
28	8 - III	140	0.69
29	9 - III	160	0.64
30	10 - III	180	0.40
31	1 - IV	0	1.35
32	2 - IV	20	1.11
33	3 - IV	40	0.99
34	4 - IV	60	0.82
35	5 - IV	80	0.70
36	6 - IV	100	0.58
37	7 - IV	120	0.49
38	8 - IV	140	0.41
39	9 - IV	160	0.33
40	10 - IV	180	0.27

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla A1.5. Datos para graficar la humedad en función del tiempo a 50°C

Tiempo de Secado θ (minutos)	Humedad W g agua/g S.S.
0	1.57
20	1.36
40	1.15
60	1.04
80	0.90
100	0.81
120	0.68
140	0.56
160	0.49
180	0.42

Elaborado por: Navarrete/Odar

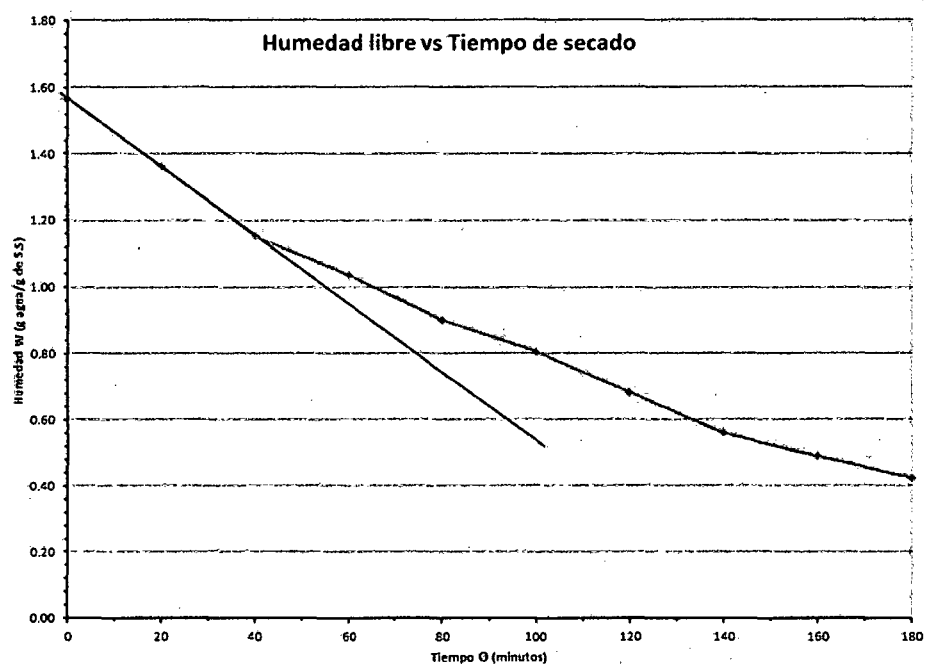


Figura A1.1. Humedad libre de la lúcura en función del tiempo a 50°C

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla A1.6. Datos para graficar la curva de velocidad de secado a 50°C

Número de Prueba	Código de Prueba	Humedad Promedio g agua/g s.s	Velocidad de secado g agua/min
1	1 - I	1.565	0.1650
2	2 - I	1.290	0.0850
3	3 - I	1.135	0.0600
4	4 - I	1.020	0.0450
5	5 - I	0.920	0.0450
6	6 - I	0.820	0.0450
7	7 - I	0.730	0.0350
8	8 - I	0.610	0.0750
9	9 - I	0.480	0.0450
10	10 - I	0.430	0.0000
11	1 - II	1.605	0.0800
12	2 - II	1.420	0.0900
13	3 - II	1.260	0.0550
14	4 - II	1.165	0.0450
15	5 - II	1.085	0.0400
16	6 - II	1.000	0.0400
17	7 - II	0.925	0.0300
18	8 - II	0.870	0.0250
19	9 - II	0.685	0.0200
20	10 - II	0.520	0.0000
21	1 - III	1.455	0.0150
22	2 - III	1.325	0.1050
23	3 - III	1.160	0.0700
24	4 - III	1.040	0.0650
25	5 - III	0.910	0.0550
26	6 - III	0.805	0.0400
27	7 - III	0.725	0.0300
28	8 - III	0.665	0.0300
29	9 - III	0.520	0.0250
30	10 - III	0.400	0.0000
31	1 - IV	1.230	0.1100
32	2 - IV	1.050	0.1050
33	3 - IV	0.905	0.0750
34	4 - IV	0.760	0.0550
35	5 - IV	0.640	0.0550
36	6 - IV	0.535	0.0400
37	7 - IV	0.450	0.0400
38	8 - IV	0.370	0.0350
39	9 - IV	0.300	0.0250
40	10 - IV	0.270	0.0000

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla A1.7. Datos para graficar la curva de secado 50°C

Humedad W g agua/g S.S.	Velocidad $V_s = dW/d\theta$ g agua/min
1.57	0.0925
1.36	0.0960
1.15	0.0525
1.04	0.0465
0.90	0.0435
0.81	0.0400
0.68	0.0385
0.56	0.0325
0.49	0.0300
0.42	0.0000

Elaborado por: Navarrete/Odar

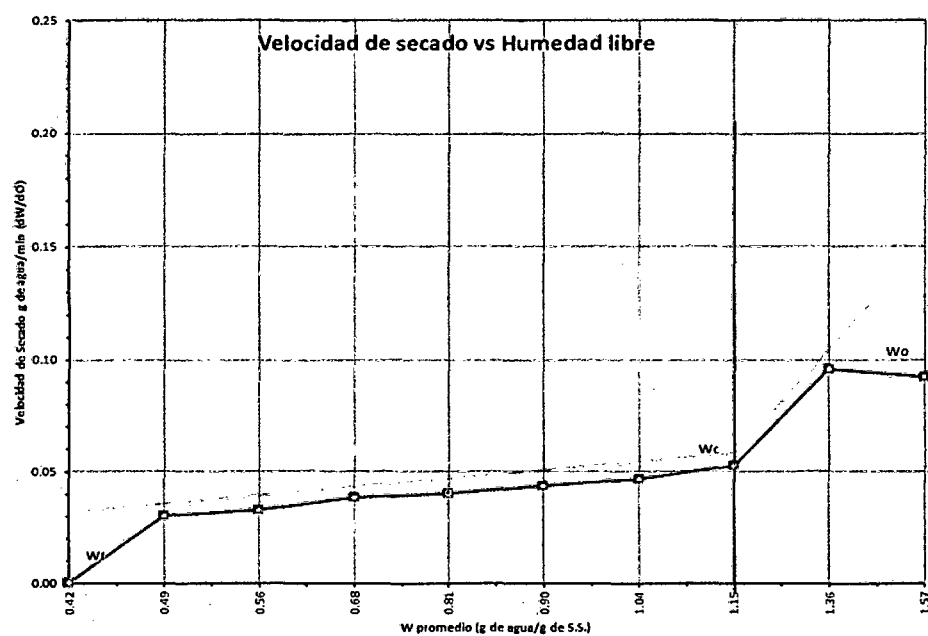


Figura A1.2. Velocidad de secado en función del contenido de humedad libre a 50°C

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla A1.8. Datos para graficar la humedad (W) en función de $1/V$ s 50°C

Humedad W g agua/g S.S.	Velocidad $dW/d\theta$ g agua/min	$1/V$ min/g agua
1.24	0.0925	10.811
0.80	0.0960	10.417
0.62	0.0525	19.048
0.48	0.0465	21.505
0.41	0.0435	22.989
0.33	0.0400	25.000
0.28	0.0385	25.974
0.24	0.0325	30.769
0.22	0.0300	33.333
0.21	0.0290	34.483

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

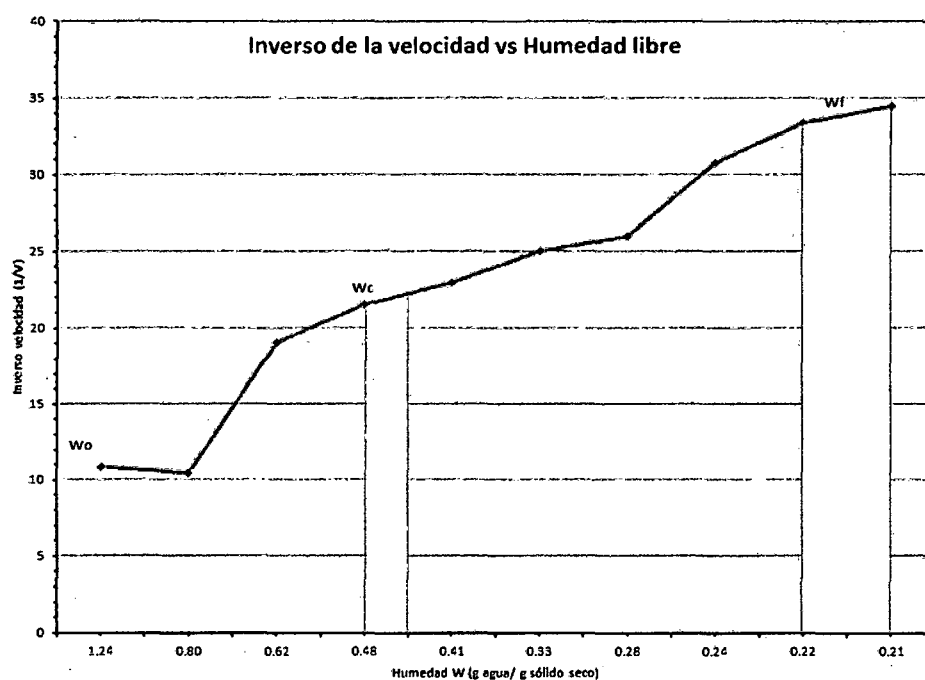


Figura A1.3. Curva de humedad (W) en función de $1/V$ s

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

1.4.1. Variables del proceso

Una vez determinadas las curvas de velocidad de secado, se podrá determinar el periodo de velocidad constante y periodo de velocidad decreciente.

1.4.1.1. Periodo de velocidad constante

$$V_{pc} = \frac{S}{A} \left(- \frac{\Delta W}{\Delta \theta} \right)$$

$$V_{pc} = \frac{S}{A} \left(- \frac{W_i - W_c}{\Delta \theta} \right)$$

Dónde:

V_{pc} = Velocidad de secado constante	:
A = Superficie expuesta a secado	: 0.0194 m ²
S = Peso de sólido seco	: 9.10 g
ΔW = Variación de la humedad en base seca	: (1.24–0.48) g agua/g s.s.
$\Delta \theta$ = Variación del tiempo de secado	: (160–31.43) min
$V_{pc} = 0.054$ g agua/min	
$V_{pc} = 194$ g agua/ cm ² .min	

1.4.1.2. Tiempo a velocidad constante

$$\theta_{pc} = \frac{S}{A} \left(\frac{W_i - W_c}{V_{pc}} \right)$$

Dónde:

V_{pc} = Velocidad de secado constante : 0.054 g agua/min
 A = Superficie expuesta a secado : 0.0194 m²
 S = Peso de sólido seco : 9.10 g
 ΔW = Variación de la humedad en base seca : (1.24 – 0.48) g agua/g s.s.
 $V_{pc} = 0.054$ g agua/min
 $V_{pc} = 194$ g agua/ cm².min
 $\theta_{pc} = 128.07$ min

1.4.1.3. Velocidad decreciente

$$V_{pd} = \frac{S}{A} \left(\frac{\Delta W}{\Delta \theta} \right)$$

$$V_{pd} = \frac{S}{A} \left(\frac{W_c - W_f}{\Delta \theta} \right)$$

Dónde:

V_{pd} = Velocidad de secado en el periodo decreciente:

A = Superficie expuesta a secado : 0.0194 m²
 S = Peso de sólido seco : 9.10 g
 ΔW = Variación de la humedad en base seca : ($W_c - W_f$) g agua/g s.s.
 $\Delta W = (0.48 - 0.21) = 0.27$ g agua/g s.s.
 $T_1 = 120$ minutos
 $T_2 = 160$ minutos
 $\Delta \theta_{pd} = 40$ minutos

$$V_{pd} = 9.10 \left(\frac{0.48 - 0.22}{40} \right) = 0.059 \text{ g agua/minuto}$$

$$V_{pd} = 0.059 \text{ a agua/minuto}$$

1.4.1.4. Velocidad promedio

$$\bar{V} = \frac{V_{pc} + V_{pd}}{2}$$

Dónde:

\bar{V} = Velocidad promedio

V_{pc} = Velocidad de secado en periodo constante : 0.054

V_{pd} = Velocidad de secado en periodo decreciente : 0.059

$$\bar{V} = \frac{0.054 + 0.059}{2} = 0.0565 \text{ g agua/minuto}$$

$$\bar{V} = 0.056 \text{ g agua/minuto}$$

APÉNDICE II

2. PROCESAMIENTO ESTADISTICO DE DATOS

Recopilar y procesar datos se ha convertido en una necesidad en la actualidad. Conocerlos e interpretarlos nos permite descubrir, prevenir, informar el comportamiento de diferentes sucesos del proceso de secado de la lúcumá y el entorno social a través de formas de texto, tablas y gráficas, esta puede ser: forma de texto, tabular, gráfica, distribución de frecuencias de datos simples y agrupados.

2.1. FORMA TABULAR

En este punto se presentan los datos obtenidos mediante las pruebas de secado y se representan los datos tabulados para facilitar su interpretación y su representación gráfica.

Tabla A2.1. Características de las bandejas y lúcuma procesada

Dimensión de bandejas	Peso de bandeja vacía	Peso de lúcumas	Espesor rodaja lúcuma
(mm)	(g)	(g)	(mm)
L = 152.80	Bandeja I = 169.30	Lúcuma 1 = 180.90	3.20
A = 127.00	Bandeja II = 168.80	Lúcuma 2 = 212.70	
H = 21.96	Bandeja III = 168.60	Lúcuma 3 = 190.40	
e = 0.88	Bandeja IV = 171.20	Total = 584.00	
Área = 0.0194 m ²			

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla A2.2. Datos de secado de lúcuma fresca a 40°C

Nº Prueba	Hora (p.m)	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)		Peso de pulpa por bandeja W (g)				Promedio (g)
			Entrada	Salida	I	II	III	IV	
1	10:54	0	40	38	19.3	22.80	17.90	21.6	20.40
2	11:14	20	40	38	15.9	18.70	13.50	17.3	16.35
3	11:34	40	40	38	14.4	17.00	12.00	15.5	14.73
4	11:54	60	40	38	13.3	15.50	10.80	14.2	13.45
5	12:14	80	40	37	12.7	14.80	10.20	13.5	12.80
6	12:34	100	40	37	12.1	14.00	9.60	12.8	12.13
7	12:54	120	40	37	11.7	13.40	9.30	12.3	11.68
8	13:14	140	40	37	11.4	12.90	9.00	11.8	11.28
9	13:34	160	40	37	11.1	12.50	9.28	11.6	11.12
10	13:54	180	40	37	10.8	12.24	9.84	11.1	11.00

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla A2.3. Datos de secado de lúcumas frescas a 50°C

Nº Prueba	Hora (a.m)	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)		Peso de Pulpa por Bandeja W (g)				Promedio (g)
			Entrada	Salida	I	II	III	IV	
1	9:15	0	50	49	25.00	24.50	22.50	21.40	23.35
2	9:35	20	50	49	21.70	22.90	22.20	19.20	21.50
3	9:55	40	50	49	20.00	21.10	20.10	17.10	19.58
4	10:15	60	50	48	18.80	20.00	18.70	16.60	18.53
5	10:35	80	50	48	17.90	19.10	17.90	15.50	17.60
6	10:55	100	50	48	17.00	18.00	16.80	13.90	16.43
7	11:15	120	50	47	16.10	16.80	16.00	13.60	15.63
8	11:35	140	50	47	15.40	15.50	15.10	12.10	14.53
9	11:55	160	50	47	13.90	15.00	13.90	11.40	13.55
10	12:15	180	50	47	13.00	13.80	12.70	10.30	12.45

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla A2.4. Datos de secado de lúcumas frescas a 60°C

Nº Prueba	Hora (p.m)	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)		Peso de pulpa por bandeja W (g)				Promedio (g)
			Entrada	Salida	I	II	III	IV	
1	12:30	0	60	59	26.30	27.70	25.70	24.6	26.08
2	12:50	20	60	59	23.40	24.30	24.60	21.9	23.55
3	13:10	40	60	59	21.40	23.10	23.90	21.5	22.48
4	13:30	60	60	58	20.20	21.80	23.10	20.4	21.38
5	13:50	80	60	58	19.50	21.00	21.80	19	20.33
6	14:10	100	60	58	18.30	19.70	21.30	18.5	19.45
7	14:30	120	60	58	17.00	18.90	20.10	17.3	18.33
8	14:50	140	60	57	16.10	17.80	19.00	16	17.23
9	15:10	160	60	57	15.60	17.00	18.20	15.4	16.55
10	15:30	180	60	57	14.40	15.50	16.60	13.8	15.08

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla A2.5. Resultados del secado de la pulpa de lúcum a 40°C

Prueba Número	Tiempo min	Temperatura °C	Peso pulpa g	Peso agua g	Humedad g agua/g S.S.	Velocidad g agua/min	Veloc. prom g agua/min	Promedio veloc. sec
1 - I	0	40	19.30	10.20	1.12	0.170	0.043	0.047
2 - I	20	40	15.90	6.80	0.75	0.075		
3 - I	40	40	14.40	5.30	0.58	0.055		
4 - I	60	40	13.30	4.20	0.46	0.030		
5 - I	80	40	12.70	3.60	0.40	0.025		
6 - I	100	40	12.21	3.11	0.34	0.026		
7 - I	120	40	11.70	2.60	0.29	0.015		
8 - I	140	40	11.40	2.30	0.25	0.015		
9 - I	160	40	11.10	2.00	0.22	0.015		
10 - I	180	40	10.80	1.70	0.19	0.000		
1 - II	0	40	22.80	13.70	1.51	0.205	0.053	
2 - II	20	40	18.70	9.60	1.05	0.085		
3 - II	40	40	17.00	7.90	0.87	0.075		
4 - II	60	40	15.50	6.40	0.70	0.035		
5 - II	80	40	14.80	5.70	0.63	0.040		
6 - II	100	40	14.00	4.90	0.54	0.030		
7 - II	120	40	13.40	4.30	0.47	0.025		
8 - II	140	40	12.90	3.80	0.42	0.020		
9 - II	160	40	12.50	3.40	0.37	0.013		
10 - II	180	40	12.24	3.14	0.35	0.000		
1 - III	0	40	17.90	8.80	0.97	0.220	0.044	
2 - III	20	40	13.50	4.40	0.48	0.075		
3 - III	40	40	12.00	2.90	0.32	0.060		
4 - III	60	40	10.80	1.70	0.19	0.030		
5 - III	80	40	10.20	1.10	0.12	0.030		
6 - III	100	40	9.60	0.50	0.05	0.015		
7 - III	120	40	9.30	0.20	0.02	0.005		
8 - III	140	40	9.28	0.18	0.02	0.004		
9 - III	160	40	9.24	0.14	0.02	0.002		
10 - III	180	40	9.20	0.10	0.01	0.000		
1 - IV	140	40	21.60	12.50	1.37	0.215	0.051	
2 - IV	140	40	17.30	8.20	0.90	0.090		
3 - IV	160	40	15.50	6.40	0.70	0.065		
4 - IV	160	40	14.20	5.10	0.56	0.035		
5 - IV	160	40	13.50	4.40	0.48	0.035		
6 - IV	160	40	12.80	3.70	0.41	0.025		
7 - IV	180	40	12.30	3.20	0.35	0.025		
8 - IV	180	40	11.80	2.70	0.30	0.010		
9 - IV	180	40	10.90	1.80	0.20	0.005		
10 - IV	180	40	10.80	1.70	0.19	0.000		

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla A2.6. Resultados del secado de la pulpa de lúcum a 50°C

Prueba número	Tiempo min	Temperatura °C	Peso Pulpa g	Peso agua g	Humedad g agua/g S.S.	Velocidad g agua/min	Veloc. prom. g agua/min	Promedio veloc. sec.			
1 - I	0	50	25.00	15.90	1.75	0.1650	0.0600	0.0500			
2 - I	20	50	21.70	12.60	1.38	0.0850					
3 - I	40	50	20.00	10.90	1.20	0.0600					
4 - I	60	50	18.80	9.70	1.07	0.0450					
5 - I	80	50	17.90	8.80	0.97	0.0450					
6 - I	100	50	17.00	7.90	0.87	0.0450					
7 - I	120	50	16.10	7.00	0.77	0.0350					
8 - I	140	50	15.40	6.30	0.69	0.0750					
9 - I	160	50	13.90	4.80	0.53	0.0450					
10 - I	180	50	13.00	3.90	0.43	0.0000					
1 - II	0	50	24.50	15.40	1.69	0.0800	0.0425		0.0500		
2 - II	20	50	22.90	13.80	1.52	0.0900					
3 - II	40	50	21.10	12.00	1.32	0.0550					
4 - II	60	50	20.00	10.90	1.20	0.0450					
5 - II	80	50	19.40	10.30	1.13	0.0400					
6 - II	100	50	18.60	9.50	1.04	0.0400					
7 - II	120	50	17.80	8.70	0.96	0.0300					
8 - II	140	50	17.20	8.10	0.89	0.0250					
9 - II	160	50	16.80	7.70	0.85	0.0200					
10 - II	180	50	13.80	4.70	0.52	0.0000					
1 - III	0	50	22.50	13.40	1.47	0.0150	0.0435			0.0500	
2 - III	20	50	22.20	13.10	1.44	0.1050					
3 - III	40	50	20.10	11.00	1.21	0.0700					
4 - III	60	50	19.20	10.10	1.11	0.0650					
5 - III	80	50	17.90	8.80	0.97	0.0550					
6 - III	100	50	16.80	7.70	0.85	0.0400					
7 - III	120	50	16.00	6.90	0.76	0.0300					
8 - III	140	50	15.40	6.30	0.69	0.0300					
9 - III	160	50	14.90	5.80	0.64	0.0250					
10 - III	180	50	12.70	3.60	0.40	0.0000					
1 - IV	140	50	21.40	12.30	1.35	0.1100	0.0540				0.0500
2 - IV	140	50	19.20	10.10	1.11	0.1050					
3 - IV	160	50	18.10	9.00	0.99	0.0750					
4 - IV	160	50	16.60	7.50	0.82	0.0550					
5 - IV	160	50	15.50	6.40	0.70	0.0550					
6 - IV	160	50	14.40	5.30	0.58	0.0400					
7 - IV	180	50	13.60	4.50	0.49	0.0400					
8 - IV	180	50	12.80	3.70	0.41	0.0350					
9 - IV	180	50	12.10	3.00	0.33	0.0250					
10 - IV	180	50	11.60	2.50	0.27	0.0000					

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

Tabla A2.7. Resultados del secado de la pulpa de lúcum a 60°C

Prueba número	Tiempo min	Temperatura °C	Peso Pulpa gramos	Peso agua gramos	Humedad g agua/g S.S.	Velocidad g agua/min	Veloc. prom. g agua/min	Promedio veloc. sec.
1 - I	0	60	25.00	15.90	1.75	0.1650	0.0550	0.0479
2 - I	20	60	21.70	12.60	1.38	0.0850		
3 - I	40	60	20.00	10.90	1.20	0.0700		
4 - I	60	60	19.10	10.00	1.10	0.0600		
5 - I	80	60	17.90	8.80	0.97	0.0450		
6 - I	100	60	17.00	7.90	0.87	0.0450		
7 - I	120	60	16.10	7.00	0.77	0.0350		
8 - I	140	60	14.40	5.30	0.58	0.0250		
9 - I	160	60	13.90	4.80	0.53	0.0200		
10 - I	180	60	13.50	4.40	0.48	0.0000		
1 - II	0	60	24.50	15.40	1.69	0.0800	0.0400	
2 - II	20	60	22.90	13.80	1.52	0.0900		
3 - II	40	60	21.10	12.00	1.32	0.0550		
4 - II	60	60	20.00	10.90	1.20	0.0300		
5 - II	80	60	19.40	10.30	1.13	0.0400		
6 - II	100	60	18.60	9.50	1.04	0.0400		
7 - II	120	60	17.80	8.70	0.96	0.0300		
8 - II	140	60	17.20	8.10	0.89	0.0200		
9 - II	160	60	16.80	7.70	0.85	0.0150		
10 - II	180	60	16.50	7.40	0.81	0.0000		
1 - III	0	60	22.50	13.40	1.47	0.0150	0.0440	
2 - III	20	60	22.20	13.10	1.44	0.1050		
3 - III	40	60	20.80	11.70	1.29	0.0800		
4 - III	60	60	19.20	10.10	1.11	0.0650		
5 - III	80	60	17.90	8.80	0.97	0.0550		
6 - III	100	60	16.80	7.70	0.85	0.0400		
7 - III	120	60	16.00	6.90	0.76	0.0300		
8 - III	140	60	15.40	6.30	0.69	0.0250		
9 - III	160	60	14.90	5.80	0.64	0.0250		
10 - III	180	60	14.40	5.30	0.58	0.0000		
1 - IV	140	60	21.40	12.30	1.35	0.1100	0.0525	
2 - IV	140	60	19.80	10.70	1.18	0.0800		
3 - IV	160	60	18.10	9.00	0.99	0.0750		
4 - IV	160	60	16.80	7.70	0.85	0.0650		
5 - IV	160	60	15.50	6.40	0.70	0.0550		
6 - IV	160	60	14.40	5.30	0.58	0.0400		
7 - IV	180	60	13.60	4.50	0.49	0.0400		
8 - IV	180	60	12.80	3.70	0.41	0.0350		
9 - IV	180	60	12.10	3.00	0.33	0.0250		
10 - IV	180	60	11.60	2.50	0.27	0.0000		

Fuente: Elaborado por Navarrete/Odar

2.2. FORMA GRÁFICA

2.2.1. Velocidad de secado vs humedad libre a 40°C

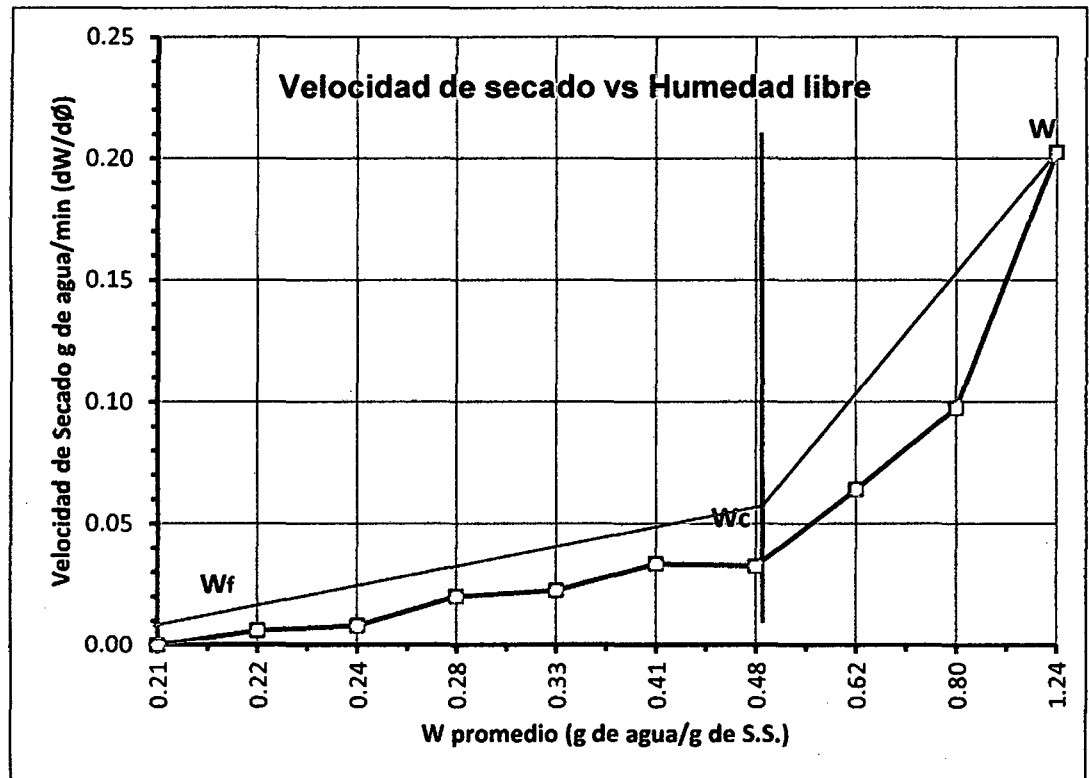


Figura A2.1. Velocidad de secado vs humedad libre a 40°C

Elaborado por: Navarrete/Odar

2.2.2. Velocidad de secado vs humedad libre a 40°C

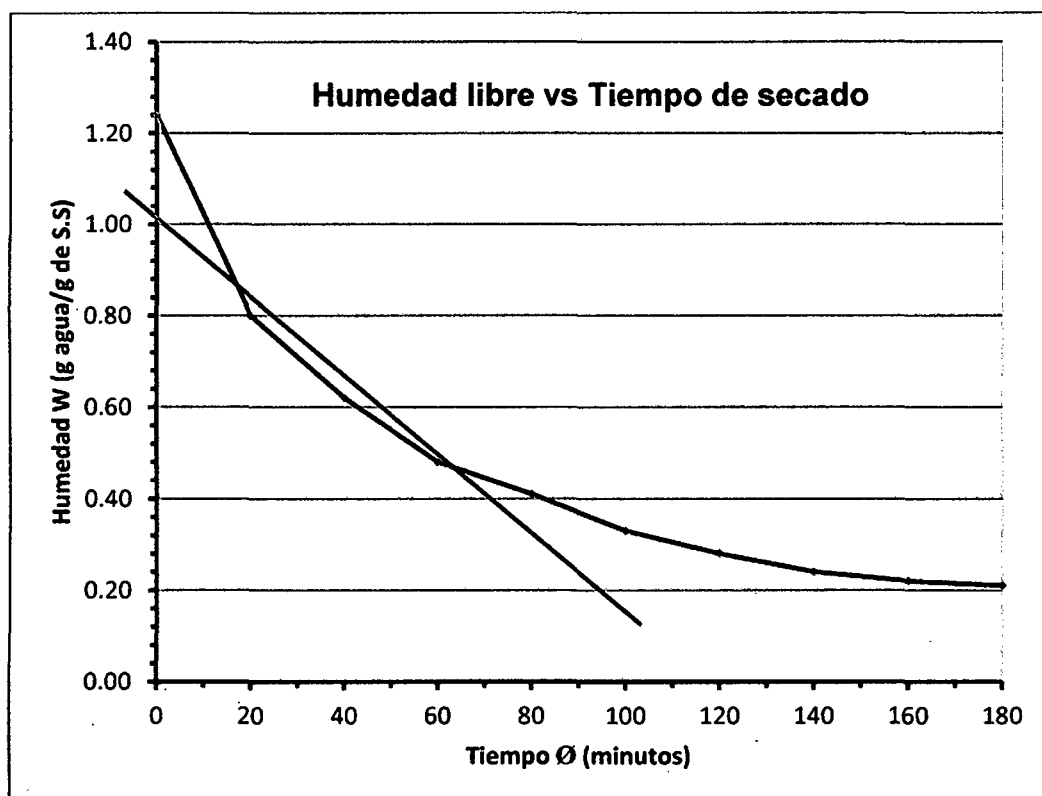


Figura A2.2. Velocidad de secado vs humedad libre a 40°C

Elaborado por: Navarrete/Odar

2.2.3. Velocidad de secado vs humedad libre a 40°C

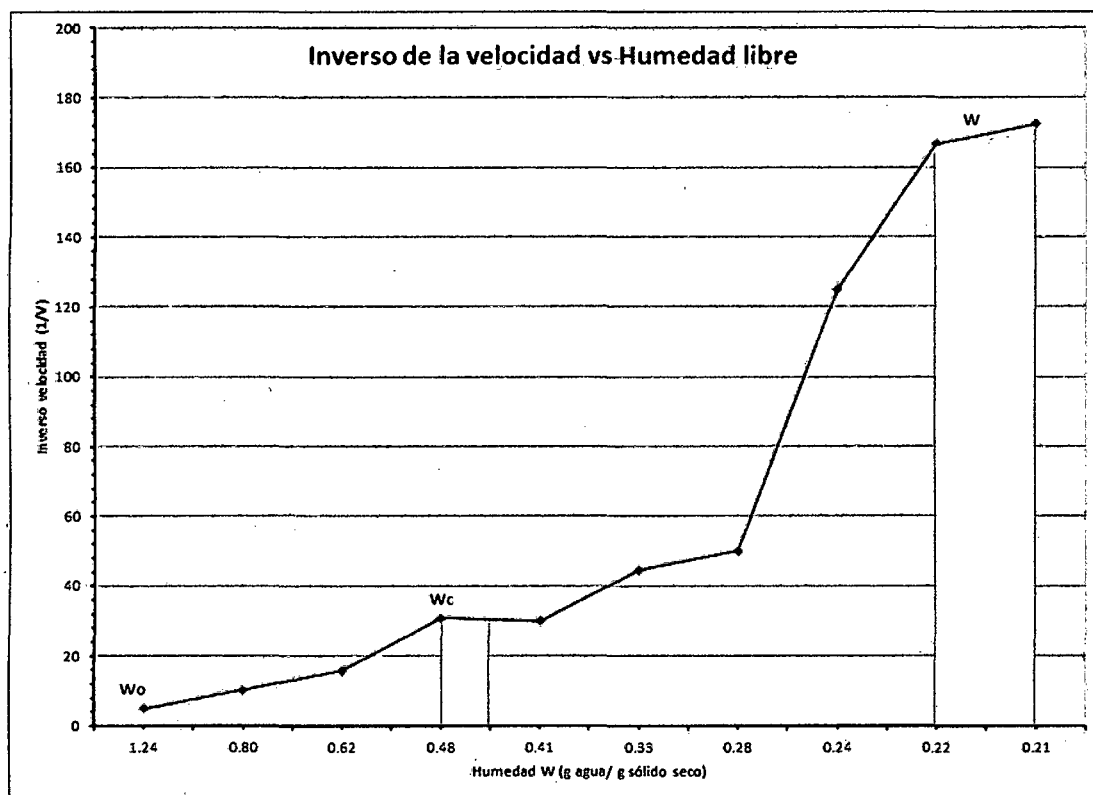


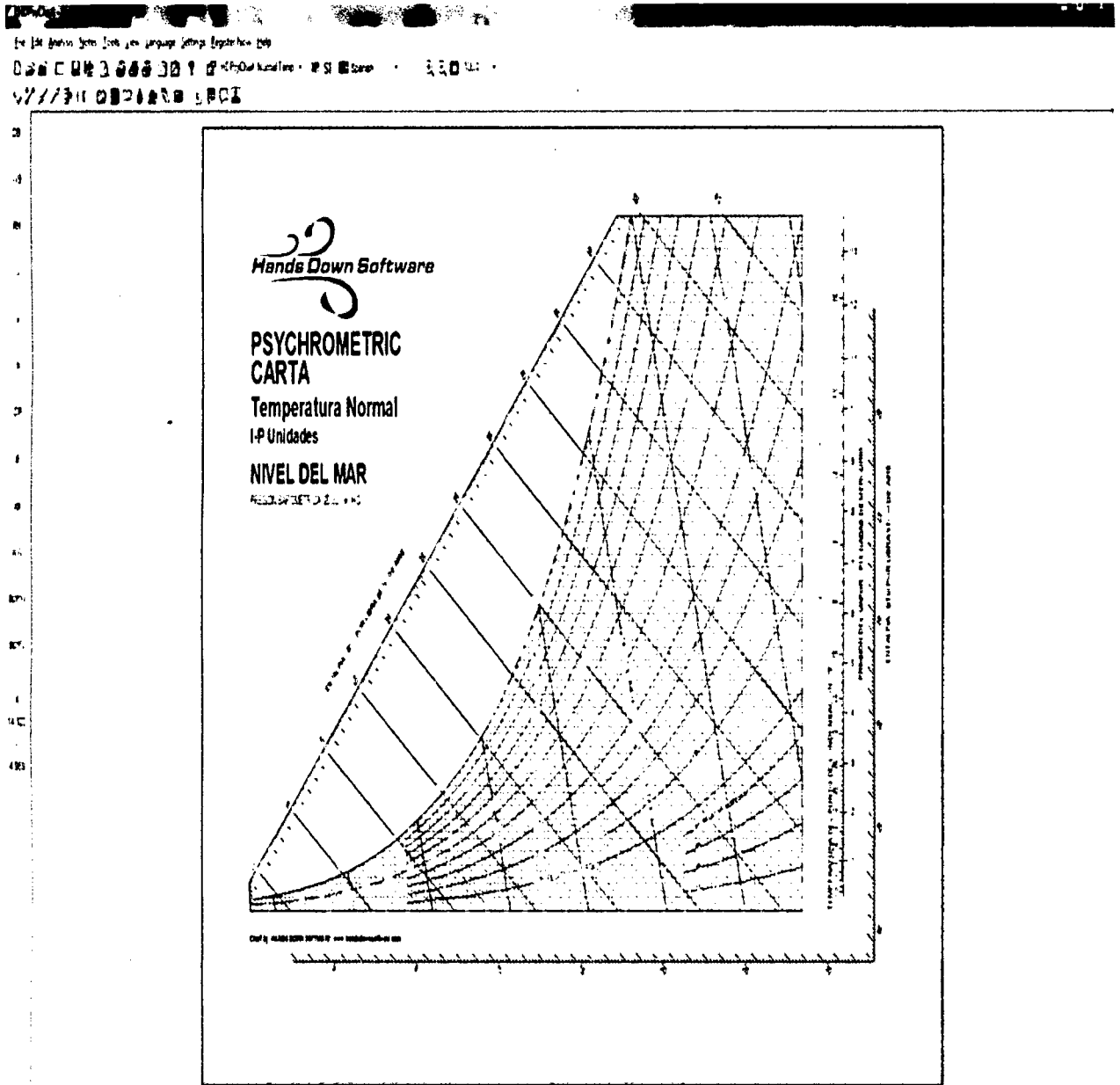
Figura A2.3. Velocidad de secado vs humedad libre a 40°C

Elaborado por: Navarrete/Odar

ANEXOS

ANEXO 1: INFORMACIÓN ADICIONAL

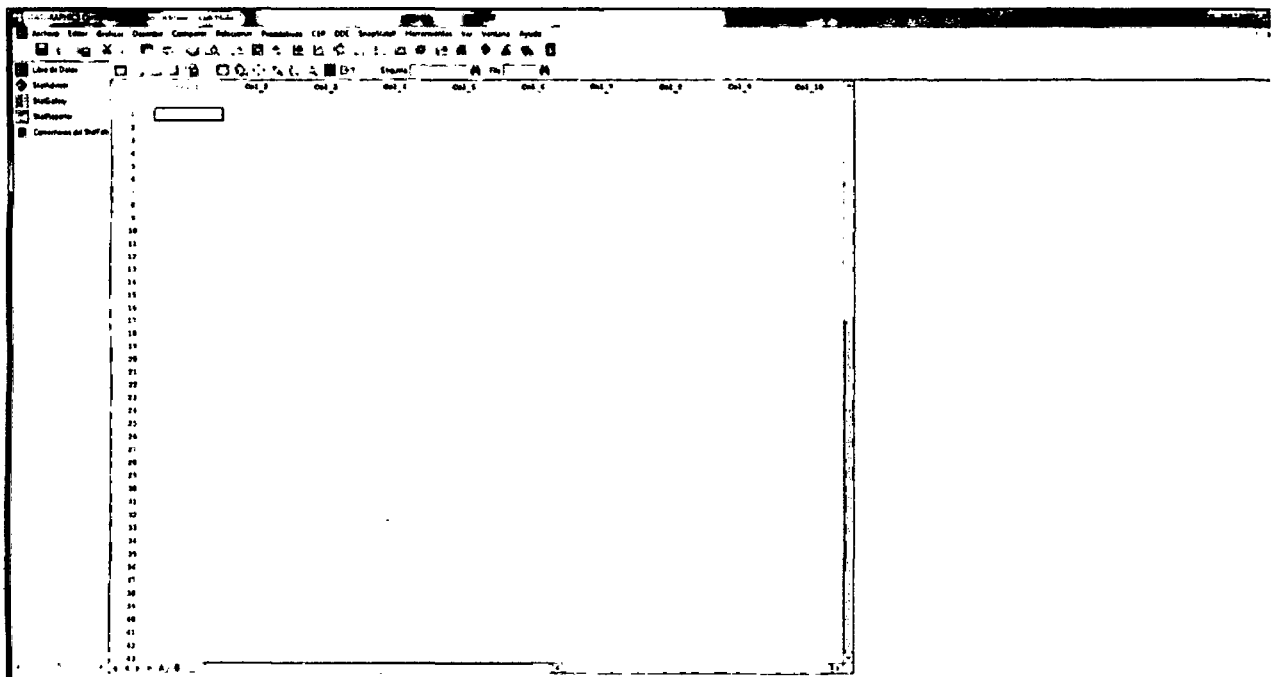
CARTA PSICOMÉTRICA



SOFTWARE ESTADÍSTICO CENTURIÓN XVI

statgraphics®

centurion XVI



ANEXO 2: HOJA DE ESPECIFICACIONES

PARTIDA ARANCELARIA

LÚCUMA

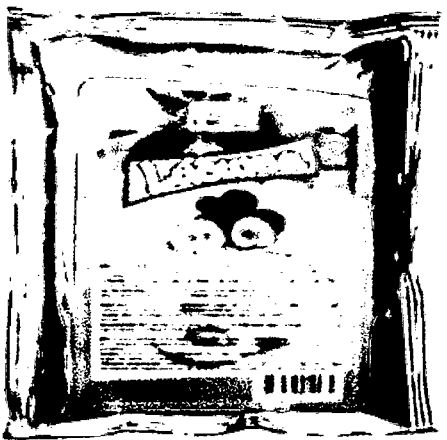
FICHA TÉCNICA

NOMBRE CIENTÍFICO	Lúcuma obovata H.B.K., Pouteria lúcuma (R & P)
NOMBRE COMÚN	Lúcuma, Lúculo
SINONIMIA	Achras lúcuma, Lúcuma bifera, Lúcuma obovata, Lúcuma turbinata Pouteria insignis, Pouteria obovata, Richardella lucuma
INGLÉS	Lúcuma
PORTUGUES	Lúcuma
ALEMÁN	Luctuoso
TIPO DE PRODUCTO	Producto No Tradicional
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	Huaraz (Valle de Conchucos, Callejón de Huaylas)
FRECUENCIA DE LA COSECHA	Abril a Noviembre
CICLO DE PRODUCCIÓN	Durante todo el año, indiferente a la sequía
VARIETADES	Lúculo de seda
	Lúculo de palo
PARTIDA ARANCELARIA	1106.30.90.00 Harina de lúcuma
	1106.30.90.10 Harina de lúcuma
	0811.90.93.00 Pulpa de lúcuma
	2008.99.90.00 Pulpa de lúcuma
EMBALAJE Y TRANSPORTE	Cajones de 6 a 8 kg como máximo
	Forrar los embalajes de madera con papel periódico

Fuente: Ministerio de Agricultura. Línea de Cultivos Emergentes. Línea de cultivos emergentes.

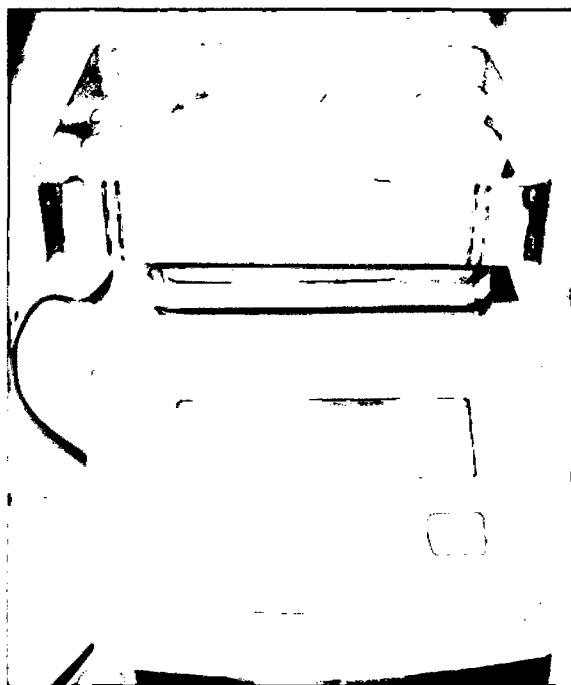
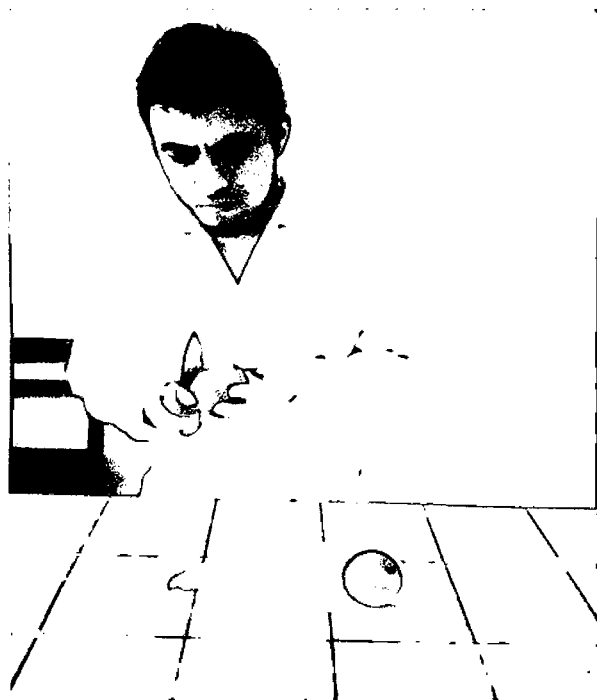
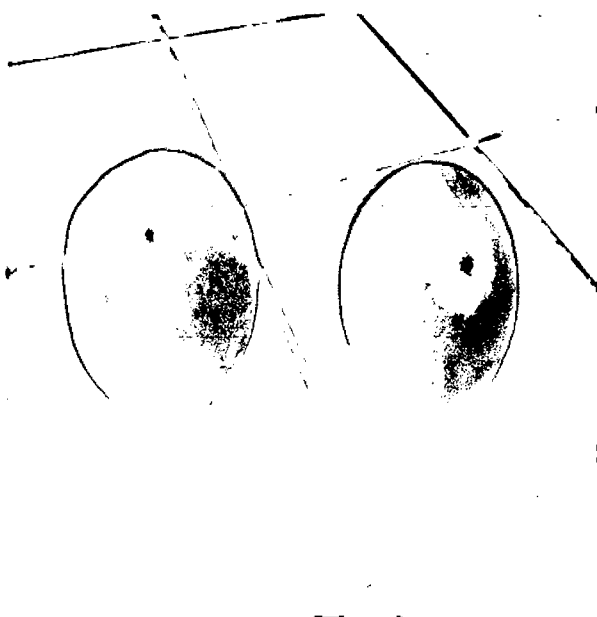
MODELO DE FICHA TECNICA DEL PRODUCTO

Nombre de la Empresa Exportadora: AGRO-EXPORT TOPARA S.A.C.
Dirección: Av. Luis Massaro Galnau # 367 Chíncha – Ica Av. Monte Mayor Chacarilla 188 – Santiago de Surco - Lima
Ciudad - País: Lima/Perú
Contacto y cargo en la empresa: BEDERSKI FISCHER STEFAN / Gerente
Teléfonos: 3721355
Fax:
E-mail:
Sitio Web: http://topara.tripod.com/

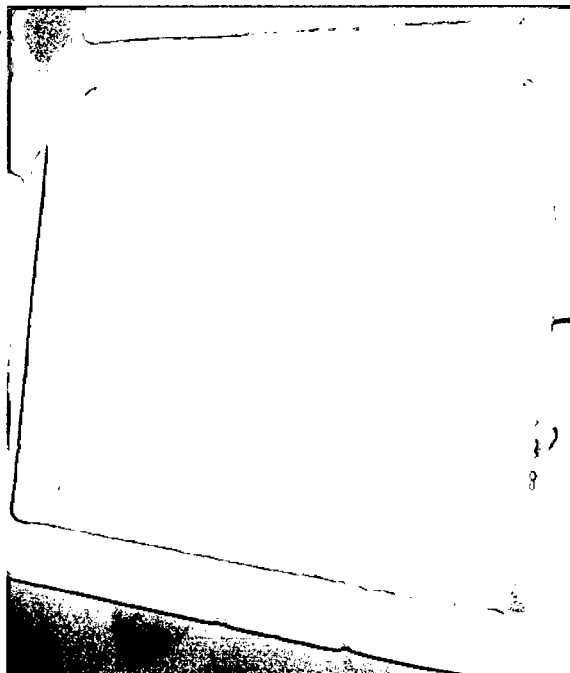
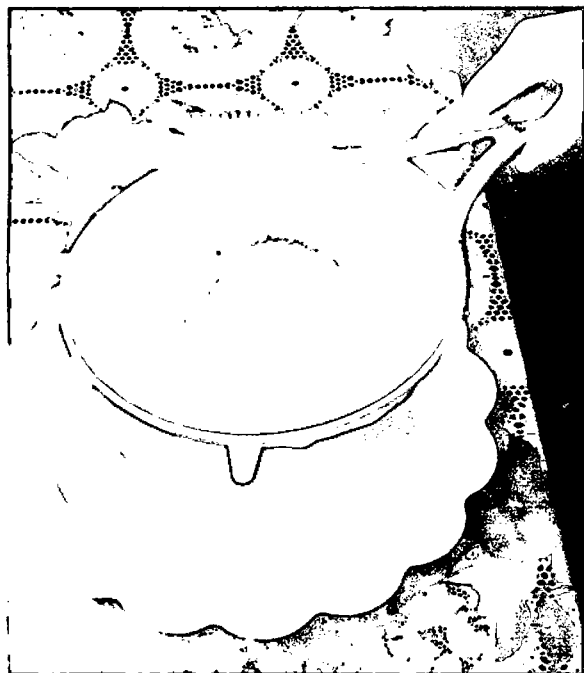
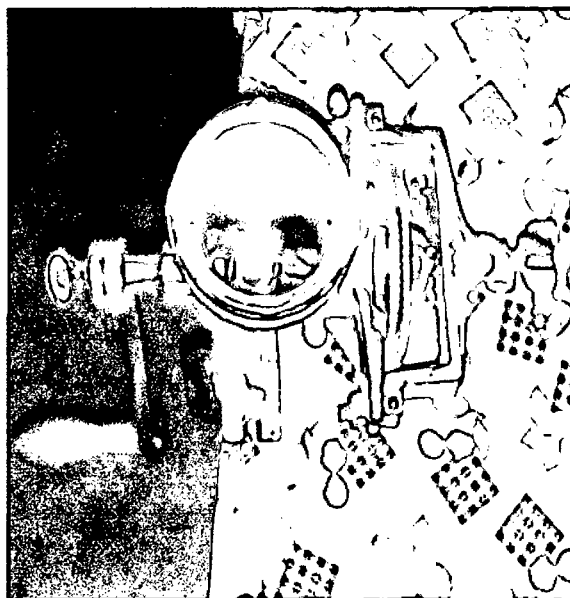
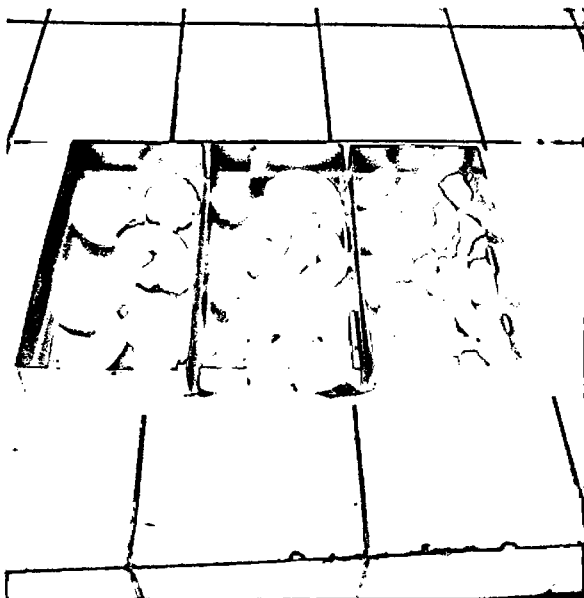
<p>NOMBRE DEL PRODUCTO: COMERCIAL Y TÉCNICO</p> <p style="text-align: center;">FOTOGRAFIA DEL PRODUCTO</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p style="text-align: right;">Lúcuma Powder</p> <p>DESCRIPCION Y CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO</p> <p>La harina de lúcuma es elaborada a partir de lúcuma cuidadosamente seleccionada, para poder ser procesada en su punto óptimo de maduración, permitiendo capturar el sabor y color característicos de la fruta. Durante el procesamiento la pulpa de la lúcuma es deshidratada y pulverizada para obtener la harina de lúcuma la cual permite preservar las características únicas de este exquisito</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Materia prima</td> <td>Lucuma</td> </tr> <tr> <td>Insumos</td> <td>Lúcuma</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>Anaranjado pálido</td> </tr> <tr> <td>Talla</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td>200 Gr.</td> </tr> <tr> <td>Usos</td> <td> <p>Uso: La harina de lúcuma es ampliamente utilizada como saborizante natural en la industria de alimentos, desde la preparación de una infinidad de postres hasta en la elaboración de helados, yogurt, panes entre otros</p> <p>Requisitos técnicos: Análisis Químico</p> <p>Valor Energético (100 g.) min. 329 Kcal</p> <p>Proteína (N X 6.25) min. 3.5</p> <p>Humedad máx. 10.0</p> <p>Grasa (PE extracto) máx. 2.5</p> <p>Cenizas máx. 2.4</p> <p>Fibra máx. 2.4</p> </td> </tr> <tr> <td>Requisitos técnicos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Características de producción</td> <td> <p>Análisis Microbiológico</p> <p>N. Coliformes totales 3 NMP g</p> <p>N. Mohos Osmofílos 50 UFC g</p> <p>N. Levaduras Osmofílas 50 UFC g</p> <p>Salmonella Negativo</p> </td> </tr> <tr> <td>Contenido del producto</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Envase/empaque/embalaje/rotulado.</td> <td> <p>Análisis Organoléptico</p> <p>Apariencia: Polvo Fino</p> <p>Color: Amarillo Pálido Anaranjado Pálido</p> <p>Sabor: Dulce</p> <p>Textura: Harinosa</p> <p>Olor: Aromático y característico de la fruta.</p> <p>Características: Durante el procesamiento la pulpa de la lúcuma es deshidratada y pulverizada para obtener la harina de lúcuma la cual permite preservar las características únicas de este exquisito fruto.</p> </td> </tr> <tr> <td>Almacenamiento y transporte</td> <td> <p>Contenido:</p> <p>Embalaje: Se empaqueta en bolsas de polietileno y cajas de cartón corrugado</p> <p>Almacenamiento: Almacenamiento a temperaturas de -18°</p> <p>Vida útil: 24 meses</p> </td> </tr> <tr> <td>Vida útil del producto.</td> <td></td> </tr> </table>	Materia prima	Lucuma	Insumos	Lúcuma	Color	Anaranjado pálido	Talla		Peso	200 Gr.	Usos	<p>Uso: La harina de lúcuma es ampliamente utilizada como saborizante natural en la industria de alimentos, desde la preparación de una infinidad de postres hasta en la elaboración de helados, yogurt, panes entre otros</p> <p>Requisitos técnicos: Análisis Químico</p> <p>Valor Energético (100 g.) min. 329 Kcal</p> <p>Proteína (N X 6.25) min. 3.5</p> <p>Humedad máx. 10.0</p> <p>Grasa (PE extracto) máx. 2.5</p> <p>Cenizas máx. 2.4</p> <p>Fibra máx. 2.4</p>	Requisitos técnicos		Características de producción	<p>Análisis Microbiológico</p> <p>N. Coliformes totales 3 NMP g</p> <p>N. Mohos Osmofílos 50 UFC g</p> <p>N. Levaduras Osmofílas 50 UFC g</p> <p>Salmonella Negativo</p>	Contenido del producto		Envase/empaque/embalaje/rotulado.	<p>Análisis Organoléptico</p> <p>Apariencia: Polvo Fino</p> <p>Color: Amarillo Pálido Anaranjado Pálido</p> <p>Sabor: Dulce</p> <p>Textura: Harinosa</p> <p>Olor: Aromático y característico de la fruta.</p> <p>Características: Durante el procesamiento la pulpa de la lúcuma es deshidratada y pulverizada para obtener la harina de lúcuma la cual permite preservar las características únicas de este exquisito fruto.</p>	Almacenamiento y transporte	<p>Contenido:</p> <p>Embalaje: Se empaqueta en bolsas de polietileno y cajas de cartón corrugado</p> <p>Almacenamiento: Almacenamiento a temperaturas de -18°</p> <p>Vida útil: 24 meses</p>	Vida útil del producto.	
Materia prima	Lucuma																								
Insumos	Lúcuma																								
Color	Anaranjado pálido																								
Talla																									
Peso	200 Gr.																								
Usos	<p>Uso: La harina de lúcuma es ampliamente utilizada como saborizante natural en la industria de alimentos, desde la preparación de una infinidad de postres hasta en la elaboración de helados, yogurt, panes entre otros</p> <p>Requisitos técnicos: Análisis Químico</p> <p>Valor Energético (100 g.) min. 329 Kcal</p> <p>Proteína (N X 6.25) min. 3.5</p> <p>Humedad máx. 10.0</p> <p>Grasa (PE extracto) máx. 2.5</p> <p>Cenizas máx. 2.4</p> <p>Fibra máx. 2.4</p>																								
Requisitos técnicos																									
Características de producción	<p>Análisis Microbiológico</p> <p>N. Coliformes totales 3 NMP g</p> <p>N. Mohos Osmofílos 50 UFC g</p> <p>N. Levaduras Osmofílas 50 UFC g</p> <p>Salmonella Negativo</p>																								
Contenido del producto																									
Envase/empaque/embalaje/rotulado.	<p>Análisis Organoléptico</p> <p>Apariencia: Polvo Fino</p> <p>Color: Amarillo Pálido Anaranjado Pálido</p> <p>Sabor: Dulce</p> <p>Textura: Harinosa</p> <p>Olor: Aromático y característico de la fruta.</p> <p>Características: Durante el procesamiento la pulpa de la lúcuma es deshidratada y pulverizada para obtener la harina de lúcuma la cual permite preservar las características únicas de este exquisito fruto.</p>																								
Almacenamiento y transporte	<p>Contenido:</p> <p>Embalaje: Se empaqueta en bolsas de polietileno y cajas de cartón corrugado</p> <p>Almacenamiento: Almacenamiento a temperaturas de -18°</p> <p>Vida útil: 24 meses</p>																								
Vida útil del producto.																									
1106.30.20.00																									
<p>PARTIDA ARANCELARIA</p> <p>PREFERENCIAS ARANCELARIAS QUE SE APLICAN AL</p> <p><small>PRODUCTO Y SU ORIGEN DE ACUERDO A LOS ACUERDOS</small></p> <p><small>PRODUCTO Y SU ORIGEN DE ACUERDO A LOS ACUERDOS</small></p> <p>PRINCIPALES MERCADOS DE EXPORTACIÓN DEL PRODUCTO</p> <p>IMPORTADORES IMPORTANTES DEL PRODUCTO (EMPRESAS)</p> <p><small>PRODUCTO Y SU ORIGEN DE ACUERDO A LOS ACUERDOS</small></p>	<p>EEUU- ATPA para países andinos 0% arancel ad-valorem; ACE Perú-Chile 0% arancel ad- valorem;(Alemania y Francia) beneficiarios del SGP por países de Grupo Andino 0% arancel ad- valorem; Apec- Singapur 0% arancel ad- valorem, con certificaciones fitosanitarias; China 28% arancel ad-valorem; Japón 15% Arancel ad- valorem.</p> <p>Estados Unidos 61%, Reino Unido 22%, Australia 5%, Países Bajos 3%, Alemania 3%</p> <p>2003 US\$ 3.68 por kilo; 2005 US\$ 6.49 por kilo; 200 8 US\$ 7.12 ; 2009 US\$9.58</p>																								

ANEXO 3: FOTOS EXPERIMENTALES

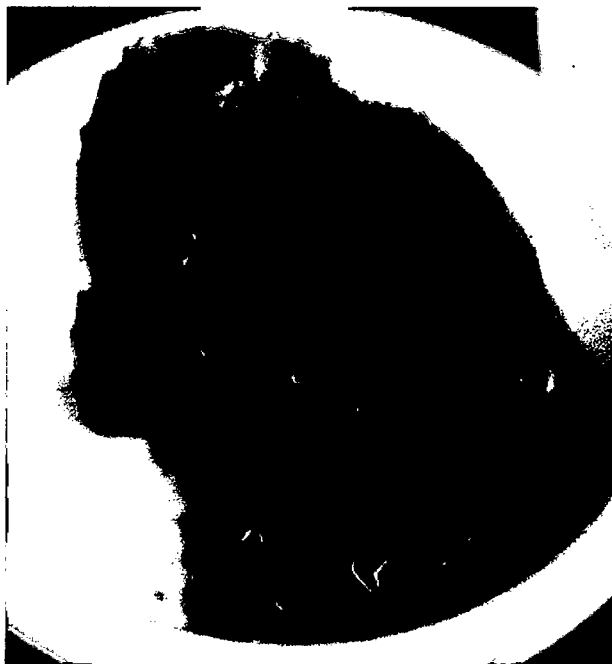
- **Materia prima, pelado y pesado**



- **Secado, molienda y cernido**



- **Obtención del producto final**



- **Secador de bandejas**

