

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
ESCUELA DE POSTGRADO**

ESPECIALIDAD DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



"Optimización del deshidratado de 2 biotipos de lúcuma (*Pouteria lucuma* (RyP) Kuntze) usando la técnica de superficie de respuesta"

Tesis para optar el Grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

MARIANELA SONIA INGA GUEVARA

LIMA – PERÚ

2004

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
ESCUELA DE POSTGRADO

ESPECIALIDAD DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**“Optimización del deshidratado de 2 biotipos de lúcuma (*Pouteria lucuma*
(RyP) Kuntze) usando la técnica de superficie de respuesta”**

Tesis para optar el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

MARIANELA SONIA INGA GUEVARA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

.....
Dra. Patricia Glorio Paulet
PRESIDENTE

.....
Dra. Carmen Velezmoro Sánchez
PATROCINADORA

.....
Mg. Sc. Miguel Araujo Vargas
MIEMBRO

.....
Mg. Sc. Américo Guevara Pérez
MIEMBRO

"Que Dios me conceda la serenidad para aceptar las cosas que no puedo cambiar, el valor para cambiar las cosas que si puedo y la sabiduria para distinguirlas"

*A DIOS por darme la dicha de
ver un nuevo amanecer .*

*A la memoria de mi padre Ciriaco
por su amor y confianza en mi.*

*A mi madre Emilia por su gran amor
y apoyo incondicional. A mis hermanos
por depositar toda su confianza en mi y
por todo lo que me dieron en la vida.*

AGRADECIMIENTOS

- A la Dra. Carmen Velezmoro Sánchez por su apoyo incondicional y por guiarme en el desarrollo de la tesis.
- A la Bach. Isela Febres por compartir el avance de su investigación sobre los estudios agronómicos del lúcumo.
- Al Fundo Agrícola Hoja Redonda por brindarme la materia prima para la presente investigación.
- Al Ing. Willy Daga por brindarme su apoyo durante la recolección de la lúcuma.
- A la empresa BIOCON S.A por prestarme sus instalaciones para las determinaciones colorimétricas.
- Al Ing. Marcos Herrera por su gestión en la evaluación del color.
- Mg. Sc. Wilfredo Vásquez por su apoyo durante el desarrollo de la investigación.
- A mis amigos que me acompañaron durante mis estudios y en el desarrollo de la tesis: Amparo Carcausto, Jeny Cornejo, Karím Castro, Mariela Talla, Eva Achata, Víctor Sarmiento, Carlos Esquerre, Rosario Pantoja.
- A todos las personas que me brindaron su apoyo en la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

Página

RESUMEN

I	INTRODUCCIÓN	1
II	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	Generalidades de la lúcuma	3
2.1.1	Clasificación taxonómica	4
2.1.2	Descripción botánica del lúcumo	4
2.1.3	Biotipos peruanos de lúcuma	9
2.1.4	Composición química de la lúcuma	10
2.1.5	Producción nacional de lúcuma en el Perú	10
2.1.6	Demanda de harina de lúcuma	10
2.1.7	Procesamiento de la lúcuma	13
2.2	Secado de alimentos	13
2.2.1	Definición	13
2.2.2	Etapas de la deshidratación de un alimento	13
2.2.3	Proceso de secado	16
2.2.4	Periodos de secado	16
2.2.5	Calculo del tiempo de secado	19
2.2.5.1	Para el periodo de velocidad constante	19
2.2.5.2	Para el periodo de velocidad decreciente	20

2.3	Actividad de agua en los alimentos	23
2.3.1	Actividad de agua en la estabilidad de los alimentos	26
2.3.2	Clasificación de las isotermas	28
2.4	Color en los alimento	30
2.4.1	Sistema CIE	31
2.4.2	Sistema Hunter	31
2.4.3	Sistema CIELAB	32
2.5	Metodología de Superficie de Respuesta	35
III	MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1	Lugar de ejecución	39
3.2	Materia prima	39
3.3	Materiales y equipos	42
3.3.1	Materiales	42
3.3.2	Equipos	42
3.3.3	Reactivos	43
3.4	Métodos de análisis	44
3.4.1	Análisis fisicoquímicos	44
3.4.2	Determinación de la humedad de equilibrio en el secado	50
3.4.3	Evaluación del tiempo de secado	50
3.4.4	Análisis sensorial	51
3.5	Metodología experimental	52
3.5.1	Recolección	54
3.5.2	Evaluación del estado de madurez	54

3.5.3	Caracterización de la materia prima	54
3.5.4	Obtención de la harina de lúcuma	54
3.5.5	Evaluación del proceso de secado	57
3.5.6	Optimización del proceso de secado	57
3.5.7	Caracterización del producto final	58
3.5.8	Determinación de la proporción más adecuada de mezcla	58
3.6	Diseño experimental y análisis estadístico.	60
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1	Evaluación del estado de madurez	62
4.2	Caracterización de la materia prima	68
4.2.1	Análisis químico proximal y contenido de vitamina C	68
4.2.2	Evaluación de las isoterms	70
4.3	Curvas de secado	77
4.4	Optimización del proceso de secado	88
4.4.1	Análisis de superficie de respuesta para la harina de lúcuma del biotipo I.	88
4.4.1.1	Análisis de superficie de respuesta del color	88
4.4.1.2	Análisis de superficie de respuesta del olor	94
4.4.2	Análisis de superficie de respuesta para la harina de lúcuma del biotipo II (palo)	98
4.4.2.1	Análisis de superficie de respuesta del color	98
4.4.2.2	Análisis de superficie de respuesta del olor	102

4.5	Caracterización del producto final	111
4.5.1	Análisis químico proximal	111
4.5.2	Solubilidad de las harinas	111
4.5.3	Granulometría de las harinas	114
4.5.4	Isotermas de adsorción de las harinas de lúcuma de los biotipos I y II	114
4.6	Proporción mas adecuada de mezcla	118
V	CONCLUSIONES	123
VI	RECOMENDACIONES	125
VII	BIBLIOGRAFÍA	126
VIII	ANEXOS	132

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición química de la lúcuma (en 100 g de pulpa)	11
2	Producción nacional de lúcuma	12
3	Demanda estimada de harina de lúcuma en la ciudad de Florida	12
4A	Características agronómicas de la lúcuma (<i>Pouteria lucuma</i> (R y P) Kuntze) para reconocimiento en chacra	40
4B	Características del fruto de lúcuma (<i>Pouteria lucuma</i> (R y P) Kuntze)	40
5	Mallas utilizadas en el análisis granulométrico	45
6	Humedades relativas de soluciones saturadas a diferentes temperaturas	48
7	Porcentajes de mezcla de harinas de lúcuma de los biotipos I y II	59
8	Diseño experimental	59
9	Análisis químico proximal y vitamina C de lúcuma (en 100g de parte comestible)	71
10	Valores de humedad relativa del aire de secado y contenidos de humedad de equilibrio de lúcuma de los biotipos I y II	75
11	Valor de monocapa y constantes determinadas a partir de las isoterms de desorción aplicando el modelo de GAB para la lúcuma biotipo I (seda) y el % RMS	75
12	Valor de monocapa y constantes determinadas a partir de las isoterms de desorción aplicando el modelo de GAB para la lúcuma biotipo II (palo) y el % RMS	76

13	Valores de difusividad efectiva para el secado de lúcuma del biotipo I (seda)	79
14	Valores de difusividad efectiva para el secado de lúcuma del biotipo II (palo)	80
15	Valores de la raíz del cuadrado medio (RMS) de los valores experimentales y estimados de las curvas de secado de la lúcumas del biotipo I y II	85
16	Tiempos de secado teórico y experimental para lúcuma del biotipo I (seda)	86
17	Tiempos de secado teórico y experimental para lúcuma del biotipo II (palo)	87
18	Medidas de color de la fruta fresca y harina rehidratada de lúcuma biotipo I	90
19	Análisis de varianza de las medidas de diferencia de color (ΔE) de lúcuma del biotipo I	91
20	Resultado de la evaluación de olor de la harina proveniente del biotipo I (seda)	95
21	Análisis de varianza de las medidas de olor del biotipo I (seda)	96
22	Medidas de color de la fruta fresca y harina rehidratada de lúcuma biotipo II	101
23	Análisis de varianza de las medidas de diferencia color (ΔE) de lúcuma del biotipo II	103
24	Resultado de la evaluación de olor de la harina proveniente del biotipo II (palo)	105
25	Análisis de varianza de las medidas de olor del biotipo II (palo)	106
26	Análisis químico proximal y de vitamina C de las harinas de dos biotipos de lúcuma (en 100 g de parte comestible)	112

27	Análisis granulométrico de dos biotipos de harina de lúcuma	115
28	Valores de monocapa y constantes determinadas a partir de las isotermas de adsorción aplicando el modelo de GAB a 20°C	115
29	Resultados de la evaluación sensorial realizada por los 21 panelistas a las mezclas de harinas de lúcuma de los biotipos I y II	119
30	Resultados de la evaluación sensorial realizada por los 7 panelistas a las mezclas de harinas de lúcuma de los biotipos I y II	120
31	Ranking de las evaluaciones sensoriales de color, olor y sabor.	122

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Frutos de lúcuma (<i>Pouteria lucuma</i> (R y P) Kuntze)	5
2A	Color de pulpa con tonalidad amarilla	8
2B	Color de pulpa con tonalidad naranja	8
3	Curva de velocidad de secado	17
4	Isoterma de desorción de humedad a diferentes temperaturas	25
5	Diversos tipos de isotermas de adsorción obtenidas con alimentos y productos biológicos	27
6	Clasificación de las isotermas de sorción de humedad	29
7	Diagrama de color L, a, b	33
8	Fruto de lúcuma del biotipo I (seda)	41
9	Fruto de lúcuma del biotipo II (palo)	41
10	Colorímetro Minolta CR-300	47
11	Esquema experimental para la optimización del deshidratado de dos biotipos de lúcuma (<i>Pouteria lucuma</i> (R y P) Kuntze) utilizando la técnica de superficie de respuesta y la obtención de una mezcla de harinas	53
12	Flujo de operaciones para la obtención de harina de lúcuma	55
13	Variación del pH con el tiempo durante el almacenaje de los biotipos de lúcuma a temperatura ambiente (23°C)	63
14	Variación de la acidez con el tiempo durante el almacenaje de los biotipos de lúcuma a temperatura ambiente (23°C)	63
15	Variación de la textura con el tiempo durante el almacenaje de los biotipos de lúcuma a temperatura ambiente (23°C)	64
16	Variación de los grados Brix° con el tiempo durante el almacenaje de los biotipos de lúcuma a temperatura ambiente (23°C)	64

17	Variación de los azúcares reductores con el tiempo durante el almacenaje de los biotipos de lúcuma a temperatura ambiente (23°C)	65
18	Isoterma de desorción de lúcumas de los biotipos I y II ajustados al modelo de GAB a la temperatura de 50°C	71
19	Isoterma de desorción de lúcumas de los biotipos I y II ajustados al modelo de GAB a la temperatura de 60°C	71
20	Isoterma de desorción de lúcumas de los biotipos I y II ajustados al modelo de GAB a la temperatura de 70°C	72
21	Isoterma de desorción de lúcuma biotipo I ajustado al modelo de GAB a la temperatura de 50, 60 y 70°C	72
22	Isoterma de desorción de lúcuma biotipo II ajustado al modelo de GAB a la temperatura de 50, 60 y 70°C	73
23	Velocidad de secado en función de la humedad libre de la lúcuma biotipo I de 2mm de espesor y temperaturas de 50, 60 y 70°C	78
24	Velocidad de secado en función de la humedad libre de la lúcuma biotipo II de 2mm de espesor y temperaturas de 50, 60 y 70°C	78
25	Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo I de espesor 2 mm y temperatura de 50°C	82
26	Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo I de espesor 2 mm y temperatura de 60°C	82
27	Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo I de espesor 2 mm y temperatura de 70°C	83
28	Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo II de espesor 2 mm y temperatura de 50°C	83
29	Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo II de espesor 2 mm y temperatura de 60°C	84

30	Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo II de espesor 2 mm y temperatura de 70°C	84
31	Diagrama de pareto para la variación del color (ΔE) lúcuma deshidratada del biotipo I (seda)	92
32	Representación de la superficie de respuesta del color en función de la temperatura y el espesor de la lúcuma biotipo I (seda)	92
33	Mapa de contornos de superficie que representa la variación del color con la temperatura y espesor	93
34	Diagrama de pareto del análisis del olor de la harina de lúcuma biotipo I (seda)	97
35	Representación de la superficie de respuesta del olor en función de la temperatura y el espesor de la lúcuma biotipo I (seda)	99
36	Mapa de contornos de superficie que representa la variación del olor con la temperatura y espesor	99
37	Optimización de las respuestas de color y olor de la harina de lúcuma procedente del biotipo I (seda)	100
38	Diagrama de pareto del análisis del color de la harina de lúcuma deshidratada del biotipo II (palo)	104
39	Diagrama de pareto del análisis del olor de la harina de lúcuma biotipo II (palo)	107
40	Representación de la superficie de respuesta del olor en función de la temperatura y el espesor de la lúcuma biotipo II	109
41	Mapa de contornos de superficie que representa la variación del olor con la temperatura y espesor	109
42	Optimización de las respuestas de color y olor de la harina de lúcuma procedente del biotipo II	110

43	Harinas obtenidas a partir de los parámetros óptimos de 50°C y 2 mm de espesor en lúcumas de los biotipos I y II	113
44	Isoterma de adsorción de las harinas de lúcuma de los biotipos I y II a 20°C experimentales y ajustados al modelo de G.A.B	117

RESUMEN

En la presente investigación se trabajó con dos biotipos de lúcuma (*Pouteria lucuma* (RyP) Kuntze) denominados biotipo I (de seda) y biotipo II (de palo). Los que fueron seleccionados a partir de sus características agronómicas en el fundo de Hoja Redonda, localizado en Chincha, Ica. La cosecha se realizó teniendo en cuenta el color amarillo de la cáscara debajo de los sépalos. Los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente (23°C). Para evaluar el estado de madurez se determinó la resistencia del fruto a la penetración (dureza) y el contenido de sólidos solubles, azúcares reductores, acidez y pH en la pulpa. Se determinó que el momento adecuado para su procesamiento fue de 10 días después de la cosecha para el biotipo I y 8 días después de la cosecha para el biotipo II. La medida del color en coordenadas L*a*b* determinó que la pulpa del biotipo I se acerca más al color rojo (a=17,57) que la del biotipo II (a= 9,35). ②

La deshidratación se realizó en un secador experimental de bandejas por aire caliente a velocidad constante (2,8 m/s) y tres temperaturas (50, 60 y 70°C). Se varió también el espesor de las rodajas: 2, 3 y 4 mm. La humedad de equilibrio se determinó empleando el modelo de G.A.B. para las isotermas de desorción a las mismas temperaturas de secado. Se evaluó la difusividad másica efectiva del agua en el producto durante el secado, mediante el ajuste de los datos experimentales de humedad en función del tiempo, empleando la solución analítica de la segunda ley de Fick para una placa infinita. Los valores de difusividad efectiva se encontraron en el rango de $6,68 \times 10^{-10}$ a $2,89 \times 10^{-9}$ m²/s para el biotipo I y de $8,50 \times 10^{-10}$ a $9,75 \times 10^{-9}$ m²/s para el biotipo II.

Para la optimización del proceso de deshidratación se evaluó el color de la pulpa fresca y deshidratada mediante un colorímetro MINOLTA CR-300, donde se determinaron los parámetros L, a y b; a partir de los cuales se determinó el parámetro ΔE . Así mismo se evaluó el olor de la pulpa por una evaluación sensorial. Estas variables dependientes sirvieron para determinar mediante un

diseño factorial 3^2 , por la técnica de superficie de respuesta, que los parámetros que las optimizan son 50°C en la temperatura de secado y 2 mm de espesor de las rodajas de lúcumas.

En la caracterización de las harinas de los dos biotipos se encontró mayor solubilidad para el biotipo I y mejor distribución del tamaño de partícula para el biotipo II. Las isotermas de adsorción de las harinas a 20°C mostraron formas sigmoideas semejantes con ligera diferencia en el valor de monocapa, el cual fue de 10,01 y 7,93 g agua/100g m.s. para los biotipos I y II respectivamente. Los parámetros de color L^* , a^* , b^* fueron 79,22; 9,39 y 46,05 para el biotipo I y 84,75; 2,89 y 44,06 para el biotipo II.

Con el fin de determinar la proporción de mezcla de las harinas de los biotipos I y II, que podría ser adecuada para su comercialización, se evaluaron sensorialmente 11 mezclas con diferentes variaciones en los porcentajes de cada biotipo. El color, olor y sabor de las muestras presentadas como batido de lúcumas, determinó que la mezcla preferida fue de 80% del biotipo II (de palo) y 20% del biotipo I (de seda).

I. INTRODUCCIÓN

La lúcuma (*Pouteria lucuma* (RyP) Kuntze) es una fruta apreciada por sus características sensoriales, como el color, el sabor y el aroma, que la hacen muy aplicativa en la repostería y principalmente es utilizado en la elaboración de helados.

En los últimos años se ha incrementado la producción de frutos de lúcuma (*Pouteria lucuma* (RyP) Kuntze) como consecuencia de su amplia utilización en la industria nacional. Debido también a la escasa oferta exportable existe una demanda potencial en el mercado internacional.

El país cuenta con diferentes biotipos de lúcuma, clasificados como lúcumas de palo y lúcumas de seda los cuales se diferencian principalmente por la textura. El primero es muy poco aprovechado en fresco por su dureza la cual no favorece su consumo directo, y por lo tanto es destinado a la elaboración de harinas; mientras que la lúcuma de seda es mayormente comercializado en fresco y también como pulpa congelada.

Para exportación, la lúcuma es ofrecida en forma de pulpa congelada y harina, por lo que las exigencias del mercado externo crean la necesidad de realizar estudios técnicos sobre estos procesos de modo que se optimicen los métodos de secado ya existentes.

Uno de los principales problemas para una adecuada comercialización de la harina de lúcuma es la falta de homogeneidad en sus características sensoriales principalmente el color, ya que la existencia de muchos biotipos hace que se presenten harinas que varían entre el amarillo claro y el anaranjado oscuro.

Todo proceso de transformación involucra un cambio en las características fisicoquímicas y sensoriales respecto del producto fresco. Por lo tanto se deben de buscar los parámetros óptimos de procesamiento que involucren un menor cambio respecto al fruto fresco.

En la actualidad existen diversas técnicas estadísticas que permiten optimizar procesos, la técnica de superficie de respuesta se presenta como una alternativa que permite este fin. Se realiza a través del adecuado desarrollo de un diseño experimental donde se evalúan las características que dependen de la variación de los parámetros de operación. El ajuste de un modelo matemático lineal o cuadrático es la base para corregir la optimización.

Los objetivos planteados para el presente trabajo fueron:

- Determinar la temperatura del aire y espesor de los trozos de fruta para la deshidratación en cabina de dos biotipos de lúcuma, usando la técnica de superficie de respuesta.
- Determinar la proporción más adecuada de mezcla de harinas de lúcuma obtenidas de 2 biotipos diferentes para su mejor aceptación por el consumidor.
- Determinar las características fisicoquímicas de las harinas provenientes de cada biotipo y la mezcla aceptada.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades de la lúcuma

El lúcumo (*Pouteria lucuma* (RyP) Kuntze) es un frutal oriundo de los valles interandinos del Perú, Ecuador y Norte de Chile (Vavilov, 1950; citado por Cisneros 1959). En el Perú, la utilización de la lúcuma por sus antiguos pobladores desde épocas anteriores al incanato, ha quedado evidenciada con imágenes moldeadas en huacos de la cultura Mochica, la misma que se desarrolló en la costa norte del país. Esto corrobora un aprovechamiento ancestral como parte de la dieta alimenticia y otras poblaciones que se asentaron en localidades de la costa y sierra del país (Anónimo, 1998).

El fruto es una baya globosa, achatada o algo alargada, verde o amarillento. Mide entre 7 y 14 cm. de diámetro. La presentación depende de la variedad o tipo, y consta de cuatro partes: un exocarpo o cáscara, que es una capa muy delgada de color verde o amarillo, bronceado y quebradizo, lampiño o algo escamoso, generalmente con una punta apical que suele estar redondeada de un anillo bruno o verde claro; un mesocarpo o pulpa, que es de grosor variable y de textura arenosa, suave o dura, su color varía de amarillo intenso, a veces ocre, hasta amarillo pálido y es de sabor muy agradable; un endocarpo u ollejo, que es de color amarillo claro; finalmente la semilla es algo redondeada y achatada, mide de 2 a 4 cm. de diámetro y está cubierta de epispermo de color marrón oscuro u ombligo de color blanco opaco: generalmente cada fruto tiene de 3 a 5 semillas o prescinde de ellas (Cisneros, 1959)

La zona de mayor producción de lúcuma en la década del setenta fue Ayacucho, posteriormente fue reemplazado por Cajamarca y en los noventa Lima pasa a liderar la producción nacional. En el año 1999 Lima tuvo una participación del 60% de la producción nacional, le siguen en importancia Ayacucho 9%, la Libertad 7% y Cajamarca 6% (Villanueva, 2001).

2.1.1 Clasificación taxonómica

Calzada (1980) refiere la siguiente clasificación botánica:

Orden	:	Ebenales
Familia	:	Sapotaceas
Genero	:	Lúcuma obovata H.B.K.; Achro lúcuma; Pouteria nitriwa; lúcuma lafera.
Nombre común	:	Lúcuma (Perú, Ecuador y Chile) colorado (Perú); Logna y lucmu (Ecuador); lúcumo coquimbo (Chile).

2.1.2 Descripción botánica del lúcumo

Es un frutal siempre verde, vigoroso, de amplia adaptabilidad, que bajo manejo comercial logra tener una altura de 3 a 5 m. Tiene como característica de la familia de las sapotáceas la de presentar látex en los tejidos epidérmicos y parenquimáticos (Villanueva, 2001).

En la Figura 1 se puede observar el fruto de lúcuma.

Hojas

Pecioladas alternas y coriáceas de color verde y borde entero. Los diferentes biotipos presentan láminas de forma lanceolada, elíptica, oval, oblonga con ápice obtuso, agudo o escotado. La longitud de la lamina puede variar de 6-25 cm de largo por 3-10 cm de ancho.



Fuente: Sánchez (2002)

Figura 1. Frutos de lúcuma (*Pouteria lúcuma* (R y P) Kuntze).

Flores

Hermafroditas, dispuestas de 1-4 en las axilas de las hojas. Con pedicelos de 8 a 16 mm de largo, pubescentes.

Cáliz

Con 5 sépalos de color verde o ferrugíneo que se mantiene en el fruto hasta la madurez.

Corola

De 5 a 7 pétalos libres de color amarillo verdoso que en su parte basal se sueldan, formando un cilindro de 15 mm de largo cuya parte superior presenta entre 5 a 7 lóbulos oblongos de ápice redondeado.

Androceo

Conformado por 5 estambres concrecentes a la corola en su parte media. Así como también por 5 estaminodios lineales ligeramente más grandes que los estambres que están soldados entre los pétalos.

Gineceo

Presenta un ovario supero subcónico esférico que puede ser hirsuto o veloso con 4 a 5 estilos erectos y obtusos más largos que la corola.

Floración

En el Perú se encuentran biotipos en diferentes estadios fonológicos, es por ello que algunos investigadores señalan que florea durante todo el año. La mayoría de biotipos florea abundantemente en los meses calurosos decreciendo pronunciadamente en otoño para luego a finales del invierno reiniciar sustancialmente la floración.

Hay una relación inversa entre la cantidad de flores producidas y el porcentaje de cuaja (fluctúa de 0,5% a 12,3%).

Fruto

Es una baya globosa, esférica, cónica, de 4 a 30 cm de diámetro circular con ápice apiculado sesgado o depresso.

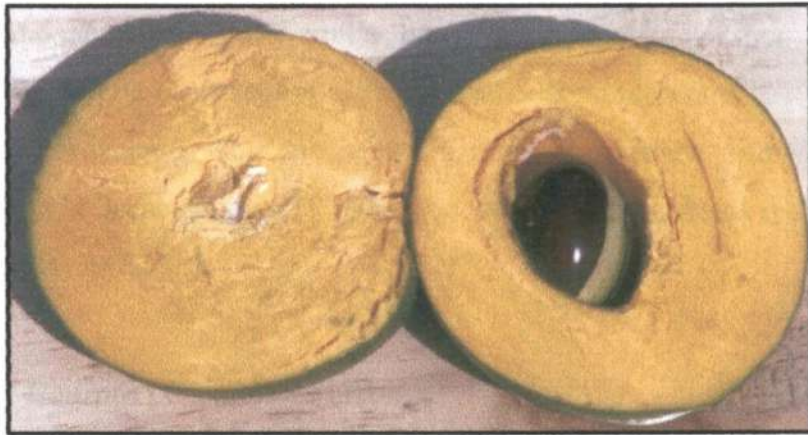
La cáscara presenta a la madurez diferentes tonalidades de color desde amarillo anaranjado a verde amarillento.

Pulpa

Es de naturaleza harinosa, de consistencia blanda o dura con diferentes tonalidades de color entre amarillo y anaranjado. Algunos biotipos presentan un fuerte aroma característico que se intensifica a la madurez. En la Figura 2A y 2B se puede apreciar diferentes tonalidades de color de la pulpa de lúcuma.

La semillas son de forma ovoide a esférica de 2 a 3 cm de diámetro, cubierta por una cáscara denominada episperma de color marrón claro a oscuro, además presenta un ombligo o hilillo de color blanco cremoso que varía de dimensión de acuerdo al biotipo. El número de semillas varía de 1 a 5, aunque existe un biotipo en el Perú (Huánuco) que no presenta semilla.

Se ha observado en varios biotipos la presencia de algunos frutos partenocárpicos. Artificialmente se puede provocar la partenogénesis o frutos sin semilla con aplicaciones de ácido giberélico en la floración (Villanueva, 2001).



Fuente: Valle Grande (2002)

Figura 2A. Color de pulpa con tonalidad amarilla



Fuente: Valle Grande (2002)

Figura 2B. Color de pulpa con tonalidad naranja

Juvenilidad

El lúcumo sembrado por semilla botánica se caracteriza por una marcada juvenilidad. Se ha observado que estos árboles demoran entre 10 a 15 años para entrar en producción. Hoy en día este periodo es acortado a través del injerto, iniciándose la floración a los 18 meses y el cuajado de los frutos de 24 a 36 meses (Villanueva, 2001).

2.1.3 Biotipos peruanos de lúcumo

Debido a que la lúcumo es una fruta exótica, de la que aun no se han terminado de realizar estudios de comportamiento y caracterización agronómica (producción y calidad) que permitan referirse a variedades conocidas; se emplean los términos biotipos, líneas o selecciones, para su denominación

Las lúcumas que se conocen en el ámbito comercial del área Andina y Centroamérica pertenecen a diferentes biotipos y líneas. Es por ello que aun no existe una calidad estandarizada del producto en fresco y procesado (Villanueva, 2001).

Villanueva (2001), menciona los siguientes biotipos peruanos: BH-A1, BH-A2, BH-A3, B1, B2.

Asimismo Valle Grande (2002), refiere las siguientes variedades de lúcumo y que son resistentes a suelos salinos: Amarillo 1, Marfil 1, Verde 1, Celeste 1, Marfil celeste.

2.1.4 Composición química de la lúcuma

En el Cuadro 1 se muestra la composición química de la lúcuma presentada por diferentes autores.

La lúcuma en comparación con las frutas de mayor consumo, supera ampliamente en contenido de tiamina (vitamina B1) y Niacina (vitamina B5) a la manzana, naranja; palta y plátano; en vitamina A es solo superada por el plátano; y, en vitamina C, es superada por la naranja. En cambio, no contiene vitamina B2. En cuanto al calcio la lúcuma supera a la manzana y plátano (UNALM, 1972).

2.1.5 Producción nacional de lúcuma en el Perú

La producción nacional de lúcuma se ha incrementado desde el año 1994 al 2001 aproximadamente en un 50% (Cuadro 2), observándose también que en el año 1998 hay una disminución de la producción de esta fruta. En forma general se puede decir que ha existido un incremento de la producción nacional de lúcuma.

2.1.6 Demanda de harina de lúcuma

Las exportaciones peruanas de lúcuma se iniciaron en la década del 70 en pequeñas remesas, llegando a exportar en el año 1972 un lote de 5000 Kg de harina con destino a la industria de helados de Chile, con una cotización de \$7,00/kg. Desde el año 1990 a la fecha se han incrementado sustancialmente hacia Chile, Argentina, Brasil y Estados Unidos (Villanueva, 2001).

Así también se han realizado estudios de la demanda de la harina de lúcuma como insumo para elaborar helados en los Estados Unidos en la ciudad de Florida, como se muestra en el Cuadro 3 (Gamarra, 1999).

Cuadro 1. Composición química de la lúcuma (contenido en 100 g de pulpa)

Componente	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g
	pulpa	pulpa	pulpa	pulpa	pulpa
	1	2	3	4	5
Agua	72,30	65,70	70,02	36,62	67,95
Proteína	1,50	3,00	2,19	4,88	1,44
Extracto etéreo	0,50	1,37	0,03	1,48	0,30
Carbohidratos	25,00	27,85	25,54	54,60	28,67
Fibra	1,30	1,02	1,22	1,28	0,86
Ceniza	0,70	0,79	1,00	1,05	0,72
Caloría	99 cal/g	135,7cal/g	--	--	--
Microcomponentes	mg	mg			
Calcio	16,00	17,00	--	--	--
Fósforo	26,00	46,00	--	--	--
Hierro	0,40	0,40	--	--	--
Caroteno	0,03	0,07	--	--	--
Tiamina	0,01	0,05	--	--	--
Riboflavina	0,14	0,13	--	--	--
Niacina	1,96	--	--	--	--
Ac. Ascórbico	5,40	--	--	--	--

Fuente : 1 Instituto Nacional de Salud (1996)

2 Trigoso (1954)

3 Gonzáles (1991); recolección estación de verano (Marzo)

4 Gonzáles (1991); recolección en estación de invierno (Agosto-setiembre) y periodo de sequía.

5 Brener (1965)

Cuadro 2. Producción nacional de lúcumas.

Año	Producción Nacional (TM)
1994	2155
1995	2540
1996	3288
1997	3010
1998	2614
1999	3654
2000	4590
2001	4311

Fuente: INEI (2002)

Cuadro 3. Demanda estimada de harina de lúcumas en la ciudad de Florida.

Año	Demanda (TM)
1999	950
2000	979
2001	1008
2002	1040
2003	1070

Fuente: Gamarra (1999).

2.1.7 Procesamiento de la lúcuma

La UNALM (1972), indica que la lúcuma tiene buena cantidad y calidad de pulpa, la cual es fácilmente industrializable, pudiendo satisfacer la demanda del mercado en épocas en las que no se dispone de fruta fresca; recomendando industrializarlos en forma de harina y enlatarlas; siendo la forma de harina la que es usada en la fabricación de helados. Asimismo realizó investigaciones con buenos resultados en el uso como materia prima en néctares, jalea, almíbar de lúcuma en trozos.

2.2 Secado de alimentos

2.2.1 Definición

El secado es un procedimiento de conservación que al eliminar la totalidad del agua libre de un alimento, impide toda actividad microbiana y reduce la actividad enzimática. Existen diferentes denominaciones de este sistema de conservación: desecación, secado y deshidratación, que pueden considerarse sinónimos aunque algunos autores establecen diferencias (Casp y Abril, 1999).

2.2.2 Etapas de la deshidratación de un alimento

Guerrero y Núñez (1991) señalan que la deshidratación de un alimento consta de dos etapas:

- La introducción de calor al producto.
- La extracción de humedad del producto.

Al deshidratar los alimentos, se procura obtener la velocidad máxima de secado, de manera que se hacen todos los esfuerzos posibles a fin de acelerar las

velocidades de transmisión de calor y transferencia de masa. Para lograrlo, es importante hacer las siguientes consideraciones:

A. Área de superficie

Generalmente, se subdivide el alimento a deshidratar en piezas pequeñas o capas delgadas, a fin de acelerar la transmisión de calor y la transferencia de masa. La subdivisión acelera el secado, porque una mayor área proporciona más superficie en contacto con el medio de calentamiento y más superficie desde la cual puede escapar humedad.

B. Temperatura

Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre el medio de calentamiento y el alimento, mayor será la velocidad de transmisión de calor. Cuando el medio de calentamiento es aire, mientras mayor sea la temperatura de éste, más humedad podrá absorber antes de saturarse (dependiendo del porcentaje de humedad inicial). Entonces al elevar la temperatura del aire, su humedad de saturación aumenta y, por lo tanto, disminuye su porcentaje de humedad.

Por otro lado hay que considerar que los componentes de los alimentos son sensibles al calor, por lo que no es conveniente elevar la temperatura del aire de secado a más de 80°C, ya que se altera el color y el sabor del producto.

C. Velocidad del aire

El aire en movimiento absorbe el vapor de agua de la superficie del alimento, previniendo así la creación de una atmósfera saturada. La velocidad del aire actúa aumentando los coeficientes globales de transferencia de masa y calor, lo que disminuye el tiempo de secado de los alimentos.

D. Sequedad del aire

Cuando el aire es el medio de secado, cuanto más seco esté, mayor será la velocidad del proceso de deshidratación. El aire seco tiene el poder de absorber y retener la humedad. El aire húmedo está más cerca del punto de saturación y, por lo tanto, puede absorber y retener menos humedad adicional que si estuviera seco. La sequedad del aire también determina hasta qué punto se puede bajar el contenido de humedad del alimento mediante la deshidratación. Cada uno tiene su propia humedad relativa de equilibrio; ésta es la que contiene a una temperatura determinada en que ni entrega ni recoge humedad de la atmósfera.

La información de estas humedades en equilibrio con sus respectivas temperaturas se reúne en las isoterms de adsorción de agua, las cuales además dependen del alimento. Generalmente, será necesario determinar las isoterms del producto específico experimentalmente.

E. Evaporación y temperatura

A medida que el agua se evapora de una superficie, ésta se enfría. El enfriamiento es el resultado de la absorción por el agua del calor latente proveniente del cambio de líquido a gas, es decir, el calor de vaporización al hacer el cambio de agua líquida a vapor de agua. En este proceso, el calor se elimina del aire empleado para secar o de la superficie usada para calentar, lo mismo que del alimento caliente, de manera que éste se enfría.

F. Tiempo y temperatura

Como todos los métodos de deshidratación de alimentos emplean calor y los componentes de dichos alimentos son termosensibles, es preciso encontrar un

compromiso entre la máxima velocidad de secado y el óptimo mantenimiento de la calidad de los mismos. Los procesos de secado que emplean altas temperaturas durante períodos cortos dañan menos los alimentos que los procesos que emplean temperaturas más bajas en períodos largos (Guerrero y Núñez, 1991).

2.2.3 Proceso de secado

Casp y Abril (1999), señalan que el agua se elimina de los alimentos por medio de su difusión, en fase líquida y/o vapor, a través de su estructura interior. Al movimiento del agua líquida le seguirá su evaporación en algún punto del alimento, para lo cual es necesario calor, por lo tanto el proceso supone un transporte simultáneo de materia y calor.

La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionado con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de este. El gradiente de presión existente entre la superficie del agua en el interior y en el exterior del alimento, es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de este.

2.2.4 Períodos de secado

Geankoplis (1998), manifiesta que el proceso de secado se divide normalmente en tres etapas diferentes como se indica en la Figura 3.

Periodo de ajuste

En este período representa el calentamiento sufrido por el alimento sólido hasta alcanzar su valor de equilibrio (tramo AB). Este período inicial de

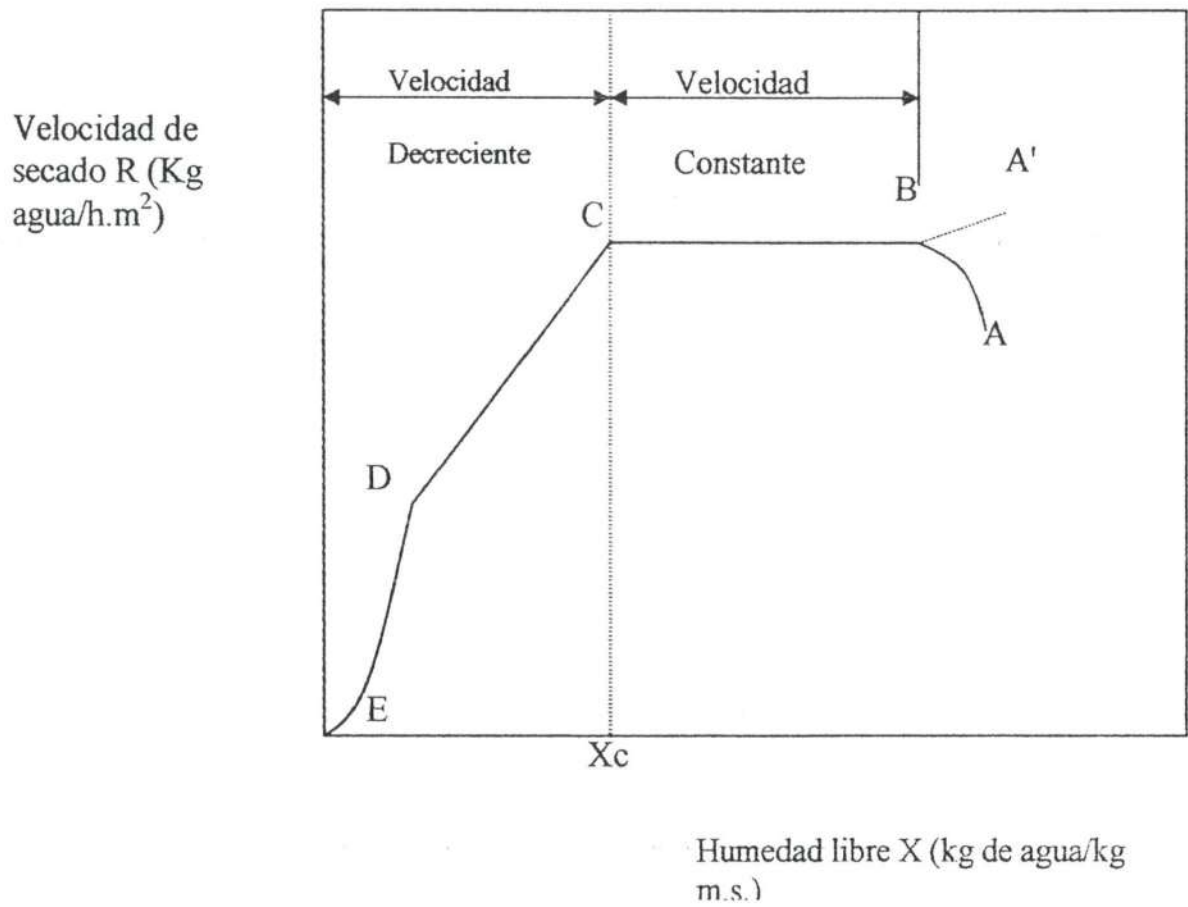


Figura 3. Curva de velocidad de secado
Fuente: Barbosa-Canovas y Vega (2000)

ajuste con estado inestable suele ser bastante corto y generalmente se ignora en el análisis de los tiempos de secado (Geankoplis, 1998).

Periodo de secado a velocidad constante

Durante este periodo, la superficie del sólido esta al principio muy mojada y sobre ella existe una película de agua continua, la cual esta siempre sin combinar y actúa como si el sólido no estuviese presente.

Por lo mismo, su temperatura se fija en un valor constante, cercana a la del bulbo húmedo (Geankoplis, 1998). En la mayoría de los casos esta etapa de velocidad de secado constante finaliza cuando el contenido medio de humedad del producto alcance el valor de la humedad crítica (tramo BC). En este periodo el principal mecanismo de transporte de masa es el flujo capilar de agua líquida, aunque puede existir alguna difusión de líquido (Casp y Abril, 1999).

Periodo de velocidad decreciente

Cuando se observa una disminución en magnitud de la velocidad de secado con respecto al período constante, se inicia el período a velocidad decreciente. El contenido de humedad en donde se presenta esta desviación es la humedad crítica (X_c). Esta humedad depende tanto de las características del alimento (forma y tamaño) como de las condiciones de secado.

En este período la superficie del producto no está cubierta por una capa delgada de agua como ocurría en el período anterior. Esto se explica por la mayor resistencia interna al transporte de agua. Conforme el contenido de humedad disminuye por abajo del punto crítico, la fuerza impulsora ejercida por la diferencia de presiones de vapor decrece y esto origina una reducción en la velocidad de secado y por consiguiente, el alimento comienza a absorber calor e incrementa su temperatura, tendiendo hacia la temperatura de bulbo seco del aire (tramo CD).

La humedad está sujeta en finos capilares y emigra difundiendo a lo largo de éstos o mediante evaporación y condensación sucesiva. Al irse reduciendo, la velocidad de secado en este período, se incrementa notablemente el tiempo de deshidratación, por lo que este fenómeno tiene un efecto importante sobre el tiempo total de secado (Wolti y Vergara, 2001).

Geankoplis (1998) indica en teoría la existencia de dos periodos de velocidad decreciente (tramo CD y DE), sin embargo en la práctica y para la mayoría de los casos, no hay una discontinuidad definida.

2.2.5 Cálculo del tiempo de secado

El factor más importante en los cálculos del secado es probablemente, la duración del tiempo requerido para secar un material a partir de un contenido inicial de humedad, hasta alcanzar un contenido de humedad final.

2.2.5.1 Para el periodo de velocidad constante

Para estimar el tiempo de secado a velocidad constante Geankoplis (1998), sugiere los métodos de:

- Método de curva de secado; de esta manera, el tiempo requerido para el periodo de velocidad constante puede determinarse directamente con la curva de secado de contenido de humedad libre en función del tiempo.
- Método que emplea predicciones de coeficientes de transferencia para el periodo de velocidad constante; el tiempo de secado para el periodo de velocidad constante puede calcularse mediante la siguiente fórmula (Brennan *et al.*, 1998):

$$t_c = \frac{(w_o - w_c) \rho_s L d}{h_c (\theta_a - \theta_s)} \quad (1)$$

Donde t_c = tiempo de secado a velocidad constante; W_o = riqueza inicial en agua del sólido; W_c = riqueza en agua al termino del periodo de secado a velocidad constante; L = calor latente de evaporación; d = profundidad de capa de producto húmedo; ρ_s = densidad a granel del producto seco; θ_a =temperatura de bulbo seco del aire, θ_s = temperatura del bulbo húmedo del aire; h_c = coeficiente de transmisión de calor para el calentamiento por convección.

2.2.5.2 Para el periodo de velocidad decreciente

Para el periodo de secado de velocidad decreciente existen los métodos de:

-Método que emplea una integración gráfica; en la que puede integrarse gráficamente, para cualquier forma de la curva de secado de velocidad decreciente, trazando $1/R$ en función de X y determinando el área bajo la curva.

$$t = \frac{Ls}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dx}{R} \quad (2)$$

Donde:

X_1 = Contenido inicial de humedad libre

X_2 = Contenido final de humedad libre

Ls = Kg de sólido seco

A = Área expuesta al secado en m^2

R = Velocidad de secado en $kg \text{ agua/h } m^2$

- Métodos de cálculo para casos especiales en la región de velocidad decreciente, en algunos casos especiales que se presentan en la región de velocidad decreciente, la ecuación de tiempo de secado (ecuación 2) puede integrarse analíticamente (Geankoplis, 1998).

Durante el periodo de velocidad decreciente se presentan distintos mecanismos de secado, como son: difusión de líquido debido a gradiente de concentración, difusión del vapor debido a la presión parcial del vapor, movimiento del líquido por fuerzas capilares, flujo de Knudsen, movimiento de líquido por fuerzas de la gravedad, y difusión superficial (Chen y Johnson, 1969; Bruin y Luyben, 1980; Fortes y Okos, 1980; mencionados por Barbosa-Canovas y Vega, 2000).

Perry (2001) sugiere que, en los sistemas en que opera el mecanismo de flujo capilar, la velocidad de secado puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\left(\frac{dw}{dt}\right)_f = -K(W - W_e) \quad (3)$$

Donde $(dw/dt)_f$ = velocidad transcurrido en el tiempo t , desde el comienzo del periodo de velocidad decreciente; W = contenido de agua del producto al tiempo t , y W_e = contenido de agua del producto cuando se halla en equilibrio con el aire que se está usando para el secado; representa el contenido mínimo de agua alcanzable, teóricamente, con aire de temperatura (θ_a) y humedad (H_a) ; K es una constante, relacionada del siguiente modo con el periodo de velocidad constante:

$$K = \frac{-\left(\frac{dW}{dt}\right)_c}{W_c - W_e} \quad (4)$$

Combinando las ecuaciones 1, 3 y 4 se obtiene la siguiente expresión:

$$\left(\frac{dW}{dt}\right)_f = \frac{-h_c(\theta_a - \theta_s)(W - W_e)}{\rho_s L d} \frac{1}{W_c - W_e} \quad (5)$$

Si la ecuación anterior se integra entre los límites $t=0$, $W=W_c$; $t=t$ y $W=W$, se obtiene el tiempo de secado durante el periodo de velocidad decreciente:

$$t = \frac{\rho_s L d (W_c - W_e)}{h_c (\theta_a - \theta_s)} \ln \frac{(W_c - W_e)}{W - W_e} \quad (6)$$

Para sólidos cortados en rodajas, en los que la desecación tenga lugar por una de las dos caras y en los que el movimiento interno del agua este controlado por la difusión del liquido, Perry (2001), sugiere la siguiente expresión:

$$\frac{W - W_e}{W_c - W_e} = \frac{8}{\pi^2} \left\{ \exp \left[-D_e t \left(\frac{\pi}{2d} \right)^2 \right] + \frac{1}{9} \exp \left[-9D_e t \left(\frac{\pi}{2d} \right)^2 \right] + \dots \right\} \quad (7)$$

en la que W = contenido promedio de agua al tiempo t , de una lámina infinita, de grosor d ; W_c = riqueza inicial de agua, suponiendo que es uniforme en toda la pieza, D_e = difusividad másica efectiva del liquido, t = tiempo de secado.

Para valores de t grandes, la ecuación (7) se puede reducir a:

$$\frac{W - W_e}{W_c - W_e} = \frac{8}{\pi^2} \left\{ \exp \left[-D_e t \left(\frac{\pi}{2d} \right)^2 \right] \right\} \quad (8)$$

o bien

$$t = \frac{-4d^2}{\pi^2 D_e} \left(\ln \frac{W - W_e}{W_c - W_e} - \ln \frac{8}{\pi^2} \right) \quad (9)$$

La ecuación (9) es válida para valores de $(W - W_e)/(W_c - W_e) < 0.06$, diferenciando la ecuación (9), se obtiene una ecuación de velocidad de forma similar a la (5):

$$\left(\frac{dW}{dt}\right)_f = -\frac{D_e \pi^2}{4d^2} (W - W_c) \quad (10)$$

Las ecuaciones (1), (5) y (10) son válidas cuando el secado ocurre por una sola cara. Cuando tiene lugar por las dos caras, entonces $d =$ mitad del espesor de la lámina.

2.3 Actividad de agua en los alimentos

Casp y Abril (1999) refieren que el agua contenida en un alimento, sea de origen animal o vegetal, está más o menos “disponible” para participar en las reacciones físicas, químicas y microbiológicas. Esta “disponibilidad” varía de un producto a otro según su composición, algunas estructuras o moléculas retienen más agua que otras; varía incluso para un mismo producto, un fruto maduro no se comporta de la misma forma que un fruto verde.

La mejor forma de expresar esta “disponibilidad” es decir el grado de “libertad” de agua de un producto, es la relación entre la presión parcial de agua en el alimento (P_{H_2O}) y la presión de vapor de agua pura (P_o) a la misma temperatura.

$$a_w = \frac{P_{H_2O}}{P_o} \quad (11)$$

La ecuación (11) define la actividad de agua en el producto y su relación con la humedad relativa de equilibrio (%HRE) del medio.

La temperatura afecta al comportamiento de la porción de los alimentos. La cantidad de agua adsorbida, a cualquier valor de actividad de agua, disminuye al aumentar la temperatura como puede apreciarse en la Figura 4.

Se han realizado numerosos intentos de representar las isotermas de sorción por medio de expresiones matemáticas. La primera y más frecuentemente usada es la de los investigadores Brunnauer, Emmett y Teller (BET), la cual expresión tiene la siguiente forma:

$$\frac{a_w}{(1-a_w)m} = \frac{1}{mo.C} + \frac{aw (C-1)}{moC} \quad (12)$$

Donde:

a_w = actividad de agua

mo = contenido de agua de la monocapa (peso seco)

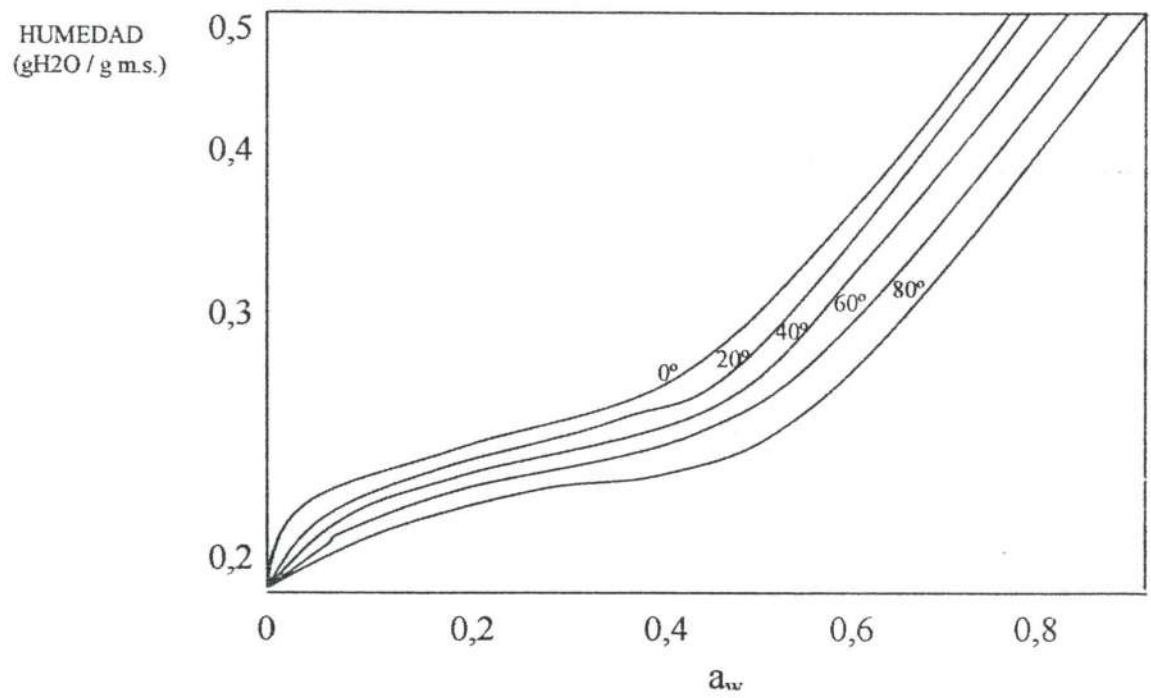
m = humedad de equilibrio (peso seco)

C = constante.

La ecuación (12) es valida en el rango de actividad de agua de 0,05-0,45. En la bibliografía se pueden encontrar más de otras treinta expresiones. En los últimos años, parece haber alcanzado popularidad la ecuación de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB), que es la extensión del modelo de BET y que fue utilizada y recomendada por el grupo de proyecto Europeo COST 90 sobre propiedades físicas de alimentos. Esta expresión es aplicable hasta a_w de 0,9 en muchos casos (Brennan *et al.*, 1998).

La expresión de GAB tiene la siguiente forma:

$$m = \frac{C K mo a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (13)$$



Fuente: Fennema (1993)

Figura 4. Isotherma de desorción de humedad a diferentes temperaturas.

Donde:

m = Humedad de equilibrio

m_0 = valor de monocapa

C = Constante de Guggenheim relacionado con el calor de sorción de la primera capa.

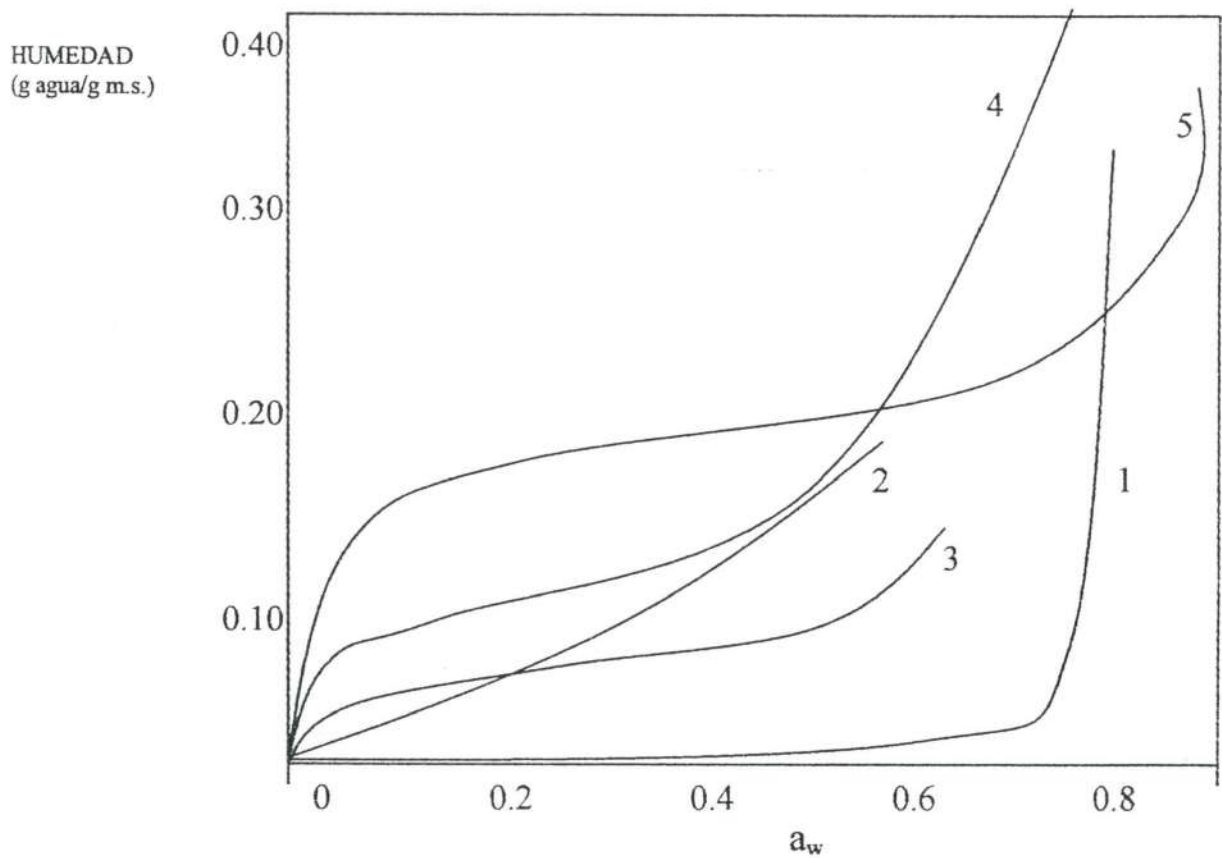
K = Factor de corrección de las propiedades de la moléculas en multicapa con respecto al seno del líquido.

a_w = actividad de agua.

2.3.1. Actividad de agua en la estabilidad de los alimentos

Brennan *et al.* (1998) menciona que el conocimiento de las características de sorción de un alimento facilita la predicción de su vida útil. En muchos casos, la riqueza en agua que permite una estabilidad máxima se corresponde con el valor de monocapa. Este dato permite también predecir los tiempos de secado y la energía necesaria para un proceso de este tipo. En sistemas de secado por aire caliente, no se puede disminuir la riqueza en agua del producto por debajo de la que tiene cuando se halla en equilibrio con el aire utilizado para el secado (a temperatura específica y con una determinada humedad). Para secar hasta contenidos de agua muy bajos, es decir correspondientes a la región de la monocapa, hay que suministrar más energía que el calor latente de vaporización, para superar las fuerzas implicadas en la unión del agua a los puntos específicos.

Fennema (1993) manifiesta que alimentos tales como frutas, confituras y extracto de café, que contienen grandes cantidades de azúcares y otras moléculas solubles pequeñas y que no son ricos en materiales poliméricos, exhiben isothermas de tipo J; como se observa en la Figura 5 donde se muestran isothermas de sorción (o adsorción) preparadas añadiendo agua a muestras previamente desecadas. Las isothermas de forma sigmoidea son características de muchos alimentos.



Fuente: Fennema (1993)

Figura 5. Diversos tipos de isothermas de adsorción obtenidas con alimentos y productos biológicos. Temperatura 20 °C, excepto para 1, que fue de 40 °C. (1) Confitura (principal componente sacarosa en polvo), (2) extracto de achicoria liofilizada, (3) café de Colombia tostado, (4) polvo de extracto de páncreas de cerdo y (5) almidón de arroz nativo.

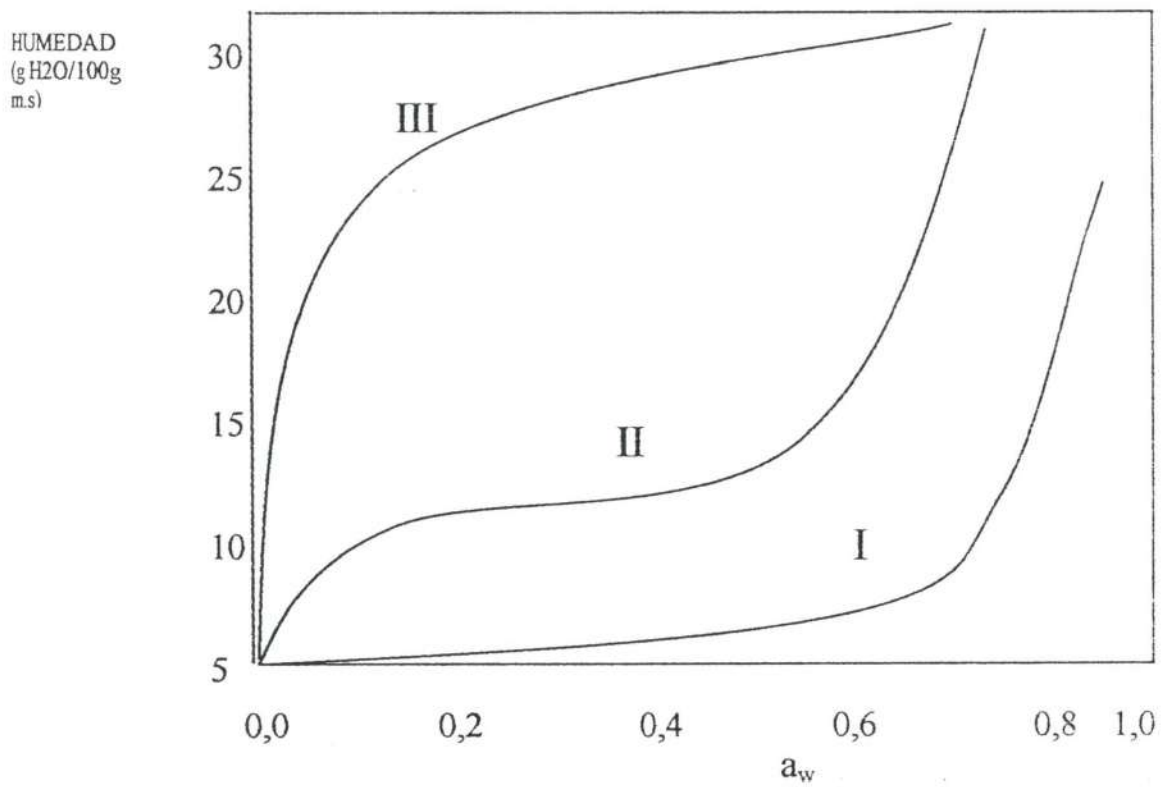
2.3.2 Clasificación de las isoterms

En la Figura 6 se indica como suelen ser clasificadas las isoterms de adsorción.

La tipo III corresponde a aditivos “anticaking”, son compuestos que tienen una gran afinidad por la molécula de agua, es decir poseen un gran número de sitios donde se puede adsorber el agua, sin que por ello aumente la actividad de agua del producto.

La tipo I corresponde a sustancias cristalinas tales como los azúcares. En este caso la estructura cristalina no permite el acceso de la molécula de agua a todos los sitios que potencialmente podrían interaccionar con ella. A medida que la a_w aumenta comienza a ocurrir la disolución de la estructura cristalina. Esto permite una mayor interacción con la molécula de agua y eventualmente la formación de una solución (Bell y Labuza, 2000).

La tipo II corresponde a la gran mayoría de los alimentos y distinto tipo de moléculas explican la forma de esta curva (Torres, 1991).



Fuente: Fennema (1993)

Figura 6. Clasificación de las isotermas de sorción de humedad

2.4 El color en los alimentos

Calvo y Duran (1997) manifiestan que el color es la propiedad más importante en los alimentos. La transparencia y la opacidad, relacionada con la cantidad de luz que el material deja pasar a través o que se refleja en él y la turbiedad, relacionada con el fenómeno de difusión en el seno del material, se aprecian junto con el color. Estas propiedades conforman mayoritariamente el aspecto visual de los alimentos.

Estas relaciones múltiples son conocidas empíricamente por el hombre y frecuentemente usadas, aunque de forma más o menos conciente, en su diario contacto con los alimentos.

La importancia tecnológica reside en la posibilidad de utilizar el color como índice de transformaciones naturales de los alimentos frescos o de cambios ocurridos en el proceso industrial. El color sensorial viene determinado por tres atributos psicológicos: tono, saturación y claridad, cuyos estímulos físicos están bastantes definidos. La visión de los colores es en cierta medida comparable entre distintos seres humanos. La percepción de los colores varía de una persona a otra, existiendo una similitud de esta percepción. Esto permite establecer una definición de una visión normal de colores. Sin embargo, no todos son similares, pudiendo las personas presentar diferencias grandes que se puede decir que presentan una forma de visión cromática “anormal” o “deficiente” (Calvo y Duran, 1997).

Debido a que no todas las personas perciben los colores de la misma forma la Comisión Internationale de l'Éclairage (CIE) definió un observador patrón medio al que referirse todas las medidas (sistema CIE, Hunter y CIELAB).

Para comprobar la capacidad visual de un observador se han desarrollado multitud de ensayos entre ellos el de Farnsworth- Munsell; este sistema ordena colores en el espacio con relación a la percepción humana en tres parámetros: el tono H

(hue), la claridad V (value) y la saturación C (chroma). En su nomenclatura se expresan por el orden antes mencionado. Por ejemplo, la notación 2,5 R 6/8 quiere decir que es un color rojo con un tono 2,5, una claridad 6 y una saturación de 8.

2.4.1 Sistema CIE

Define un espacio físico de colores fundado en la percepción tricromática. Este espacio se desarrolló basándose en la igualación de colores mediante mezclas de cantidades apropiadas de tres estímulos fundamentales: rojo, verde y azul.

Para evaluar la cromaticidad se definen las llamadas coordenadas de cromaticidad x, y, z ; las cuales se obtienen al expresar los valores triestímulos (X, Y, Z) como fracciones de su suma total. Matemáticamente se expresa por (Calvo y Duran, 1997):

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}; \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}; \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (14)$$

2.4.2 Sistema Hunter

También se desarrolló el sistema L, a, b de Hunter; con estas nuevas coordenadas se define un espacio cartesiano en el que L corresponde a la claridad a y b a la cromaticidad. Concretamente a define el componente rojo-verde; rojo para valores positivos y verde para valores negativos. El parámetro b define el componente amarillo-azul; amarillo para los valores positivos y azul para los valores negativos. Los colores son tanto más saturados cuanto más separados se encuentran del centro del gráfico los puntos que lo definen.

La relación entre los valores triestímulos L, a, b y los triestímulos X, Y, Z , viene dada por las siguientes ecuaciones:

$$L = 10 Y^{1/2} \quad (15)$$

$$a = \frac{17,5(1,02X - Y)}{Y^{1/2}} \quad b = \frac{7,0(Y - 0,847Z)}{Y^{1/2}} \quad (16)$$

2.4.3 Sistema CIELAB

El año 1971 la CIE propuso un nuevo espacio cromático por transformaciones no lineales del sistema CIE 1931, al que se denomina CIELAB; en este nuevo sistema se define un espacio en coordenadas rectangulares (L^*, a^*, b^*) junto con otros en coordenadas cilíndricas (L^*, H^*, C^*). En la Figura 7 se puede apreciar el diagrama de color L, a, b.

La equivalencia entre las coordenadas CIELAB y CIEXYZ es la siguiente (Calvo y Duran, 1997):

$$L^* = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \quad (17)$$

$$a^* = 500((X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}) \quad (18)$$

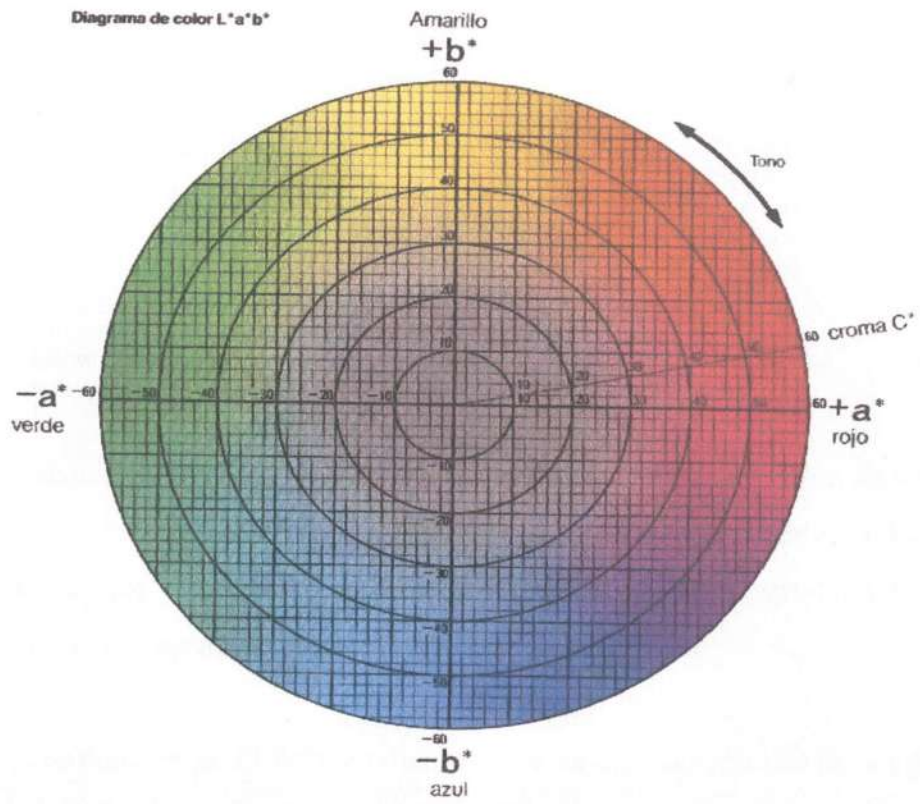
siendo $Y/Y_0 > 0.01$

$$b^* = 200((Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}) \quad (19)$$

donde X, Y, Z son los valores triestímulo de la muestra y X_0, Y_0, Z_0 los del punto acromático correspondiente al iluminante empleado.

La diferencia de color entre dos muestras viene dada por la expresión (Bragadóttir, 1998; Calvo y Duran, 1997; Manual colorímetro Minolta, 2000):

$$\Delta E^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (20)$$



Fuente: Minolta (2000)

Figura 7. Diagrama de color L,a,b

En el caso de la representación en coordenadas cilíndricas, las variables utilizadas son: L^* , C^* , H^* , donde L^* es la claridad, C^* el croma (saturación) y H^* el tono, y vienen definidas por las siguientes ecuaciones:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (21)$$

$$H^* = \arctan b^*/a^* \quad (22)$$

Se han aplicado numerosos estudios utilizando los parámetros L, a, b para evaluar el color, entre éstos se tiene:

- Salamanca *et al.* (1996) investigaron la naturaleza del color de algunas mieles tropicales de *Apis mellifera* en el departamento de Bocaya, España; en la que se encontró un amplio espectro de color, variabilidad en la claridad, ángulo de tono, cromaticidad y luminancia.
- Bartolomé *et al.* (1996) evaluaron la influencia del proceso de congelado y el almacenamiento en congelación sobre el color y características sensoriales de la piña en trozos, en donde los parámetro de medidas de color fueron L, -a, +b.
- Giusti y Wrolstand (1996) estudiaron el color que brinda el extracto de antocianinas obtenidos del rabanito como colorante natural para el marrasquino de cereza como una alternativa de color del Rojo N° 40 FD&C, para lo cual emplearon el sistema CIELAB, además del colorímetro HUNTER COLOR QUEST.
- Sukrnark *et al.* (1998) evaluaron la aceptabilidad de los consumidores americanos y asiáticos del pescado extruído y snacks de maní, se utilizaron las medidas L, a, b, para el análisis del color.

- Bragadóttir (1998) estudió el efecto del proceso sobre el color rosado durante el almacenamiento en congelación del pescado rojo (*Sebastes mertella*) y del pescado rojo naranja (*Sebastes marinus*). Las medidas de color se realizaron en el sistema CIELAB, para ello utilizaron el colorímetro MINOLTA CR-300.
- Ahmed y Shivhare (2001) realizaron un estudio sobre la cinética del cambio de color, comportamiento reológico, efectos del material de empaque, y temperatura de almacenamiento de una pasta de ajos, las medidas de color se realizaron con el colorímetro HUNTER D25, los parámetros de medida fueron L, a, b.
- Fernández *et al.* (2001) realizaron medidas de color en parámetros L, a, b; sobre la carne de cerdo jóvenes cuando se evaluaron las características fisicoquímicas de la carne.

2.5 Metodología de Superficie de Respuesta

La metodología de la superficie de respuesta (MSR) es un conjunto de técnicas estadístico matemáticas que se emplean para determinar las mejores condiciones en que opera un proceso con el fin de lograr un resultado óptimo, lo que a su vez contribuye a un mayor conocimiento de la naturaleza del sistema de operación de dicho proceso (Giovanni, 1983).

El objetivo final de esta metodología es obtener una ecuación matemática que representa en forma confiable la influencia de las variables independientes sobre la respuesta que se busca en un rango de trabajo previamente seleccionado. El hecho de obtener un modelo matemático es de mucha importancia pues se pueden obtener innumerables respuestas tan sólo con estudiar algunos niveles de trabajo de las variables escogidas y dentro de ellas, las que mejor representen las mejores respuestas buscadas (Villarroel, 1999).

Villarroel (1999) refiere que se debe aplicar la Metodología de superficie de respuesta cuando se persigue optimizar la combinación de las variables independientes para obtener la mejor respuesta. Cuando se estudia más de una variable es adecuado seleccionar un diseño factorial del tipo 2^n o 3^n . Para el caso de desarrollo de productos, el modelo más frecuentemente utilizado es el polinomial de segundo orden cuyos términos incluyen efectos lineales, de interacción entre variables así como efectos cuadráticos y de curvatura:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{12}X_1X_2 \quad (23)$$

Y la ecuación estimada:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2 \quad (24)$$

Donde:

Y= variable respuesta

X_1, X_2 =variables independientes

$B_0, B_1, B_2, B_{11}, B_{22}, B_{12}$ = Coeficientes de la regresión.

$b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ = coeficientes de la ecuación estimada.

Al comparar con otras estrategias de diseño experimentales en las que se varía una variable independiente a la vez manteniendo constante las otras, el nuevo enfoque ofrece varias ventajas. Entre ellas se cita el ahorro de tiempo y de recursos económicos. Estudiar el efecto de dos variables a tres niveles cada una, que en la práctica utiliza un diseño factorial 3^n de sólo 9 muestras experimentales. Otra cosa es que también se puede analizar el efecto interactivo de las variables así como determinar matemáticamente la combinación óptima para llegar a obtener las mejores respuestas del problema que se está estudiando (Villarroel, 1999).

La estrategia para resolver este tipo de problemas parte por la etapa de definir con claridad el propósito del estudio. Estos pueden ser de variada naturaleza:

reducción de costos, prolongación de vida útil, mejorar los aspectos sensoriales (apariencia, sabor, textura), modificación de las variables de proceso, solucionar problemas de déficit nutricionales o metabólicos, etc. (Villarroel, 1999).

La metodología de superficie de respuesta ha sido empleada en numerosos estudios de investigación entre los cuales se destacan los siguientes:

- Optimización del deshidratado al vacío de apio (*apium graveolens*), en la que se consideraron como variables independientes la temperatura, presión de vacío y espesor de los trozos; la respuesta fue el contenido de humedad final (Ponciano y Ferdidand, 2001).
- Optimización del batido de vainilla, en la que se buscó desarrollar un producto lácteo (batido de vainilla), de forma que la aceptación de éste por parte de los consumidores fuera la máxima posible, sin un coste excesivo (González y Ferrero, 2000).
- Daval *et al.* (2000) estudiaron la influencia de la concentración de la soya y el tiempo de almacenamiento en emulsiones de sistemas modelos compuestos por carne de vacuno, cerdo y tocino con adición de sal; sometidos a oxidación acelerada por calentamiento a 80°C donde la respuesta fue la concentración de peróxido.
- Villarroel *et al.* (2000) optimizaron la formulación de premezclas en polvo de queque y bizcochos dietéticos; las variables seleccionadas para el queque fueron % agente emulsionante y tiempo de horneado; y para bizcocho % agente emulsionante y % harina clorada, las respuestas fueron los resultados de un análisis sensorial.
- Villarroel *et al.* (1999) realizaron una caracterización sensorial de paté a base de descartes de pulpa de salmón, las variables independientes para

este estudio fueron la concentración de sal y la concentración de goma xantana; se evaluó la consistencia, sabor y apariencia del producto.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en diferentes lugares, los que a continuación se mencionan:

- Laboratorio de Análisis Físico Químico de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Planta Piloto de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria la Molina
- Laboratorio de control de calidad de la empresa BIOCON S.A.

3.2 Materia prima

Los frutos de lúcuma utilizados en el presente trabajo fueron proporcionados por el Fundo Agrícola Hoja Redonda en Chincha. Se trabajó con dos biotipos de lúcuma, uno clasificado como variedad seda (conocido en el fundo como L4) al que se denominó biotipo I y el otro de variedad de palo (conocido en el fundo como hoja ancha) al que se denominó biotipo II; ambos biotipos fueron cosechados en el periodo comprendido entre Febrero y Mayo del 2002.

Debido a la diversidad de biotipos de lúcumas existentes en el fundo se utilizaron algunos criterios agronómicos para la cosecha de ambos biotipos; los que se indican en el Cuadro 4A y asimismo en el Cuadro 4B se presenta otras características del fruto de lúcuma .

En las Figuras 8 y 9 se aprecian los frutos de los dos biotipos empleados.

Cuadro 4 A. Características agronómicas planta de la lúcuma (*Pouteria lúcuma* (R y P) Kuntze) para reconocimiento en chacra

	Biotipo I (seda)	Biotipo II (palo)
Planta:		
Follaje	Medianamente vigorosa	Muy vigorosa
Diámetro de copa	Denso	Denso
Ramas	Amplio	Amplio
Orientación	Decumbentes	Decumbentes
Hojas:		
Color de hoja adulta	Verde	Verde oscuro
Forma de hoja adulta	Lanceolada	Lanceolada
Flores:	Marrón cobrizo	Marrón claro
Color de sépalos	Abundante	Escasa pubescencia
Pubescencia de sépalos		

Fuente: Isela Febres (2002).

Cuadro 4 B. Características del fruto de lúcuma (*Pouteria lúcuma* (RyP) Kuntze)

	Biotipo I (seda)	Biotipo II (palo)
Fruto:		
Color predominante de la superficie externa	Verde oscuro	Verde oscuro
Forma del fruto	Piriforme	Globoso
Ápice	Agudo	Ausente
Color de pulpa	Anaranjado	Amarillo
Anillo	Escaso	Ancho

Fuente: Febres (2002).

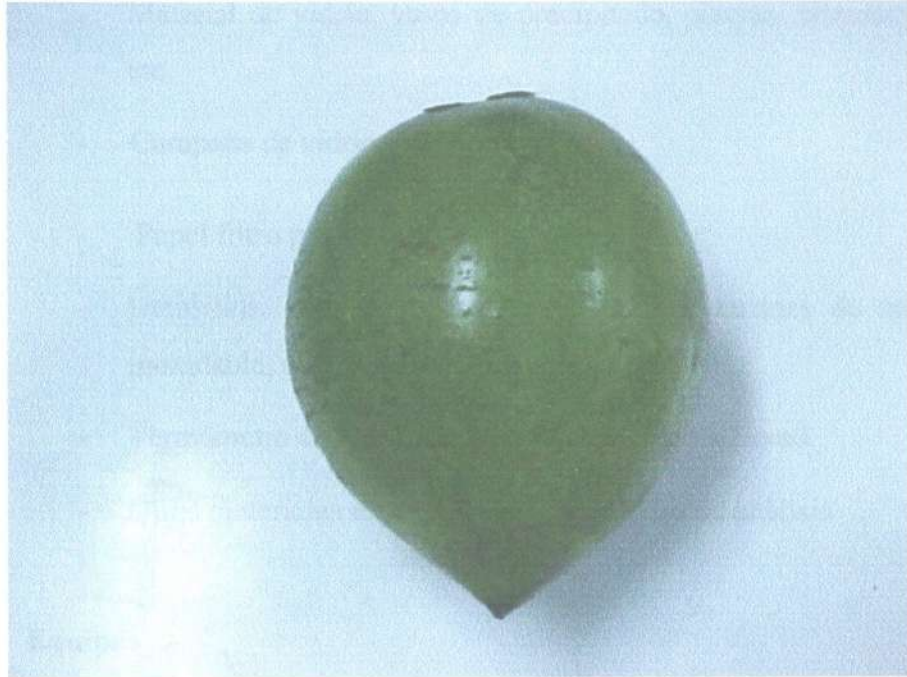


Figura 8. Fruto de lúcuma del biotipo I (seda)

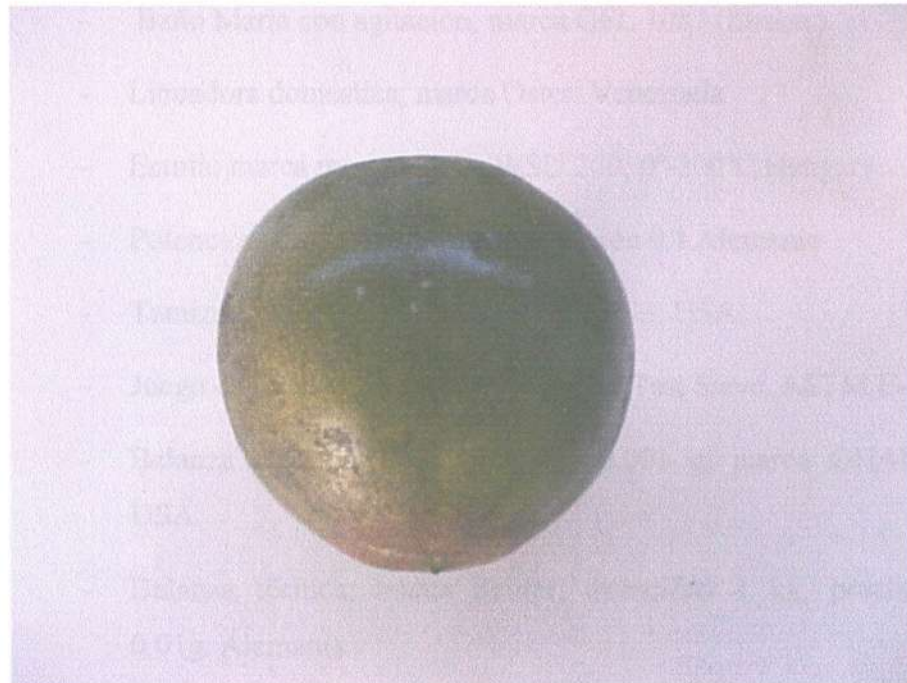


Figura 9. Fruto de lúcuma del biotipo II (palo)

3.3 Materiales y equipos

3.3.1 Materiales

- Material de vidrio: vasos de precipitado, pipetas, erlenmeyer, etc.
- Campana de vidrio.
- Papel filtro paso rápido
- Utensilios: cuchillos, rebanadora manual, tazones de acero inoxidable, etc.
- Termómetro de mercurio de 0 a 150 °C marca Brand
- Otros materiales requeridos en los métodos de análisis

3.3.2 Equipos

- Cocina eléctrica; marca General Electric. USA
- Baño María con agitación; marca GFL 1083 (Shaker)
- Licuadora doméstica; marca Oster. Venezuela
- Estufa; marca m/w modelo: WSU 200; 0°-300°C.Hungary.
- Potenciómetro; marca Hanna, precisión 0.1.Alemania
- Tamizador Ro-Tap. Marca SIEMMENS. USA.
- Juego de tamiz; marca U.S.A. Stándar Test Sieve, ASTM E-11
- Balanza electrónica de precisión 0.001 g; marca OHAUS. USA.
- Balanza técnica; marca Sauter, capacidad 1 kg, precisión 0.01g. Alemania.
- Refractómetro Universal Abbe de mesa. Modelo I. Alemania .

- Molino de martillo; sin marca con malla N° 200 (75um) , fabricación nacional.
- Espectrofotómetro. SPECTRONIC 20 GNESYS.O.Abs, 100% T. USA.
- Anemómetro digital SPER SCIENTIFIC. Alemania
- Centrifuga MLW. Modelo T621. Alemania.
- Cámara termostaticada “Cooling and Heating”. HUTOGEPGYAR JASZBERENY. Tipo HA 031. Alemania.
- Secador de túnel de aire forzado a nivel de laboratorio de fabricación nacional.
- Estufa MEMMERT Universal, modelo TV 40. Máxima capacidad 120°C. Hungary.
- Mufla GALLENKAMP modelo M303PY. Máxima capacidad 800°C. Alemania.
- Penetrómetro; marca Effegi. USA
- Colorímetro MINOLTA CR-300. Japón.

3.3.3 Reactivos

A continuación se indican los principales reactivos empleados para las determinaciones analíticas:

- Azúcares reductores: Hidróxido de sodio, ácido 3,5- dinitrosalicílico, fenol, tartrato de sodio y potasio, glucosa.
- Vitamina C: ácido oxálico, dinitrofenol sodico.
- Isotermas de sorción : soluciones saturadas de cloruro de sodio, nitrito de sodio, cromato de potasio, cloruro de magnesio, dicromato de sodio, acetato de potasio.

3.4 Métodos de análisis

3.4.1 Análisis físico químicos

- Proximal: Se determinó el contenido de humedad, ceniza, extracto etéreo, fibra cruda proteína total, carbohidratos, según el método recomendado por la A.O.A.C. (1995). Este análisis se efectuó para caracterizar a la materia prima y producto final en función a su composición química.
- Sólidos Solubles: Se determinó por método refractométrico a 20°C (A.O.A.C. 1995).
- Acidez Titulable: Se determinó por el método de titulación con NaOH 0,1 N, se expresó como g ácido cítrico/ 100 g de pulpa para lo que se empleó el factor 0,07 (Kirt, *et al.* 2000).
- pH: Método potenciométrico (A.O.A.C 1995).
- Azúcares Reductores: Metodología descrita por Whisler (1964), citado por Iwamoto (1995).
- Vitamina C: Método espectrofotométrico con 2-6 diclorofenol-indofenol propuesto por el departamento de agricultura de Canadá (1976), citado por Mendoza (1993).
- Textura: Se utilizó la metodología descrita por Castro (1999); utilizando un penetrómetro manual de 5/16 pulgadas.
- Análisis granulométrico de las harinas: Se utilizó la metodología descrita por Silver (1975), citado por Casas (1996) que consiste en colocar 100 g de muestra (harina de lúcuma) en un tamiz vibrador de laboratorio marca Rop Tap, la que se zarandó por 5 minutos; pesándose finalmente las fracciones retenidas en cada malla. En el Cuadro 5 se presentan los tamices empleados y las aberturas de malla respectivas.
- Determinación de la solubilidad en agua de las harinas: Para este análisis se pesó una muestra de 2,5 g de harina de lúcuma a la que se le agregó 30 ml de agua a 30°C. Se sometió a agitación intermitente por 30 minutos, luego de los cuales se colocó en una centrifuga de 300 rpm por 10 minutos, el sobrenadante se pasó a un vaso de precipitado previamente tarado, el que se colocó en una estufa a 90°C para secar por evaporación. Para los cálculos se

Cuadro 5. Mallas utilizadas en el análisis granulométrico

Nº de tamiz ASTM E-11	Abertura de la malla (μm)
40	425
50	300
70	212
100	150
200	75

determinó el peso del sólido soluble y se expresó en % con respecto al peso inicial de la harina (Salazar de Bucle, 1973; citado por Casas, 1996).

- Determinación del color : El color de las harinas fue medido por el colorímetro Minolta CR-300 (Figura 10) en medidas L* a* b*, procediéndose a medir los colores en las muestras obtenidas en cada tratamiento de secado de los dos biotipos de lúcuma. Para realizar estas mediciones las harinas fueron rehidratadas hasta alcanzar la humedad de la fruta fresca, asimismo se realizó la medición del color de la fruta fresca para evaluar el cambio después de los tratamientos; efectuándose tres repeticiones de las medidas de color. Para evaluar este cambio se empleó la siguiente expresión recomendada por Calvo y Durán (1997) y Bragadóttir (1998):

$$\Delta E^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (20)$$

ΔL^* , Δa^* , Δb^* ; son las variaciones de las medidas de color entre la fruta fresca y los tratamientos.

ΔE^* = Variación de las medidas L*a*b* de la fruta fresca y tratamientos.

- Determinación de isoterms

a) Desorción

Para la determinación de las isoterms se procedió a elaborar campanas de vidrio cuyas dimensiones fueron de 8 cm de alto por 6 cm de diámetro, a las cuales se les colocó en el interior una rejilla como soporte de las placas que contendrían las muestras. El diseño de las campanas se realizó según lo propuesto por Spiess y Wolf, (1987). Las sales utilizadas en cada campana así como sus humedades relativas se muestran en el Cuadro 6; se prepararon dichas sales según lo indicado por Huamán (2001).



Fuente: MINOLTA (2003)

Figura 10. Colorímetro MINOLTA CR-300.

Cuadro 6. Humedades relativas de soluciones saturadas a diferentes temperaturas

Temperatura (°C) Soluciones saturadas	20°C	50°C	60°C	70°C
	Cloruro de litio	0,113	0,111	0,109
Acetato de Plomo	0,231	0,200	0,190	0,180
Cloruro de magnesio	0,431	0,305	0,293	0,278
Dicromato de sodio	0,540	0,500	0,490	0,480
Nitrito de sodio	0,660	0,610	0,600	0,590
Cloruro de sodio	0,755	0,740	0,720	0,700
Cromato de potasio	0,870	0,830	0,820	0,810

Fuente : Torres (1991)

Se colocaron 2 a 3 g de lúcumo fresca en cada campana (con dos repeticiones por porcentaje de humedad relativa). Las campanas fueron mantenidas a condiciones constantes de temperatura (50, 60 y 70°C) dentro de una estufa durante 8 días, en los que se alcanzó la humedad de equilibrio (peso constante) (Spiess y Wolf, 1987; Huamán, 2000; Bell y Labuza , 2000).

b) Adsorción

En la determinación de las isotermas de adsorción se pesaron de 2 a 3 g de harina de lúcumo a la que previamente se le determinó el contenido de humedad. Se colocaron las campanas con las sales saturadas y las muestras en una cámara termostaticada a 20°C durante 8 días en las que se alcanzó la humedad de equilibrio.

En ambos casos los puntos experimentales obtenidos fueron ploteados en un gráfico de humedad de equilibrio en base seca (m) con respecto a la humedad relativa (a_w) y ajustados al modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB); el cual tiene la siguiente expresión:

$$m = \frac{C K m_0 a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (13)$$

Donde :

m= contenido de humedad de equilibrio del producto (g agua/ g m.s)

C= constante de Guggenheim relacionado con el calor de sorción de la primera capa.

K= factor de corrección de las propiedades de las moléculas en multicapa con respecto al seno del líquido.

m_0 = contenido de humedad de la monocapa (g agua/ g m.s)

a_w = actividad de agua

3.4.2 Determinación de la humedad de equilibrio en el secado

Apartir de las isotermas de desorción de la fruta de lúcuma fresca y mediante la aplicación del modelos de GAB se determinó la humedad de equilibrio para el secado de ambos biotipos de lúcuma. Para las condiciones del aire de secado determinados mediante temperatura del bulbo seco y bulbo húmedo con ayuda de la carta psicrométrica se establecieron las humedades relativas de equilibrio a las temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C,

3.4.3 Evaluación del tiempo secado

Las rodajas de lúcuma se secaron por el método de flujo de aire caliente, donde se aplicaron tres espesores: 2, 3 y 4 mm y tres temperaturas del aire: 50, 60 y 70°C, con una velocidad de aire de 2,8 m/s.

Se procedió primero a calentar el aire del secador hasta la temperatura de trabajo a investigar. Luego se colocaron las muestras en una bandeja y seguidamente al secador. Se pesaron las bandejas a diferentes intervalos de tiempo, esto se realizó hasta llegar a peso constante. Así mismo se controló la temperatura del bulbo seco, la del bulbo húmedo y la velocidad del aire. Para hallar el contenido de materia seca se determinó primero el contenido de humedad de la fruta mediante el método de estufa (105 °C por 6 horas).

Para la evaluación del tiempo teórico de secado, se asumió un modelo de difusión a través de una placa infinita; dado que las lúcumas se cortaron en rodajas con espesor pequeño (2, 3 y 4 mm) en comparación con el área de transferencia.

La ecuación analítica que describe dicho modelo y que se empleó en la evaluación del secado de lúcuma (Kaymark-Ertekin, 2002) es la siguiente:

$$\frac{W - W_e}{W_c - W_e} = \frac{8}{\pi^2} \left\{ \exp \left[-D_{ef} t \left(\frac{\pi}{2d} \right)^2 \right] + \frac{1}{9} \exp \left[-9D_{ef} t \left(\frac{\pi}{2d} \right)^2 \right] + \dots \right\} \quad (25)$$

Donde:

W = contenido de humedad promedio (g agua/g m.s)

W_c = contenido de humedad crítica (g agua/g m.s)

W_e = contenido de humedad de equilibrio (g agua/g m.s)

D_{ef} = difusividad efectiva

d = espesor total de las rodajas.

t = tiempo de secado

Se procedió primero a calcular la difusividad efectiva por regresión de los datos experimentales ajustados a la ecuación 25. Este proceso se realizó en el software STATISTICA 6.0 mediante regresión no lineal.

Para determinar el tiempo de secado conociendo la difusividad másica, se siguió un procedimiento iterativo aplicado a la misma ecuación (25) donde se consideró que la humedad final deberá ser de 10% en base húmeda (PROLUCUMA, 2002).

3.4.4 Análisis sensorial.

Para evaluar el olor de las harinas obtenidas en el proceso de secado se colocaron 20 g de muestra rehidratada en un envase de vidrio de 6 cm. de alto por 4 cm. de diámetro por cada tratamiento, procediéndose a sellar los envases con papel parafilm al que se le hicieron 150 agujeros con la finalidad de permitir la salida del olor. Cada envase adicionalmente contó con una tapa externa que permitió la concentración del olor y fue forrado de modo que evitó que la muestra fuera observada por el juez, lo que podía influenciar en su respuesta. Para esta evaluación se recurrió a un panel semientrenado conformado por 10 personas quienes evaluaron las muestras en varias sesiones en las que se le presentaban solo 3 muestras por sesión. Esta evaluación se realizó a través del método analítico cuantitativo con escala no estructurada de longitud de 10 cm utilizándose una muestra de referencia (patrón) (Villarroel, 2000). La hoja de evaluación se presenta en el Anexo 1.

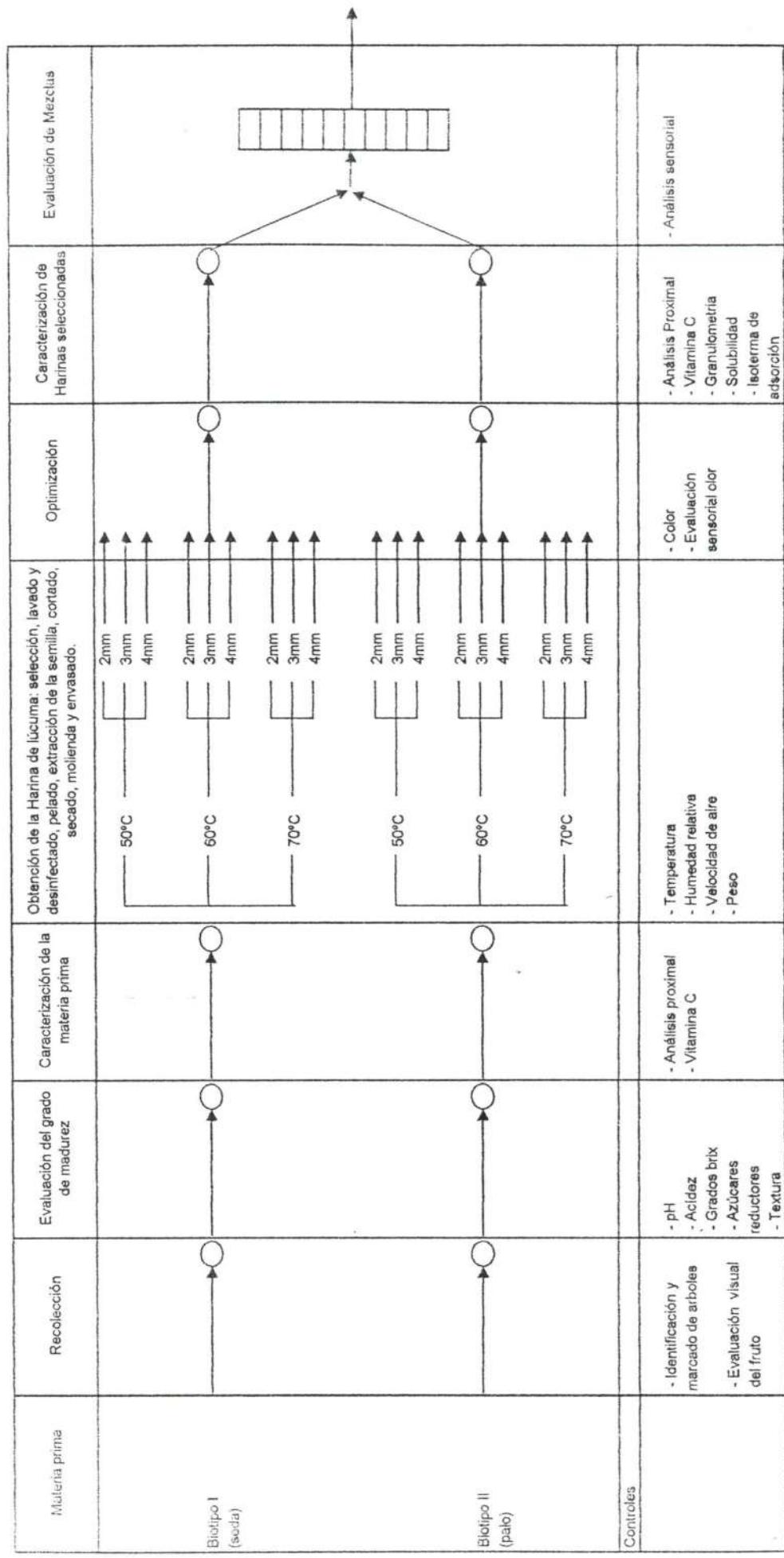
Para la evaluación de las mezclas de harina de los dos biotipos de lúcuma, se elaboró un batido de la fruta, manteniendo condiciones estándares. Para ello se rehidrató la mezcla de harina de lúcuma hasta un contenido de humedad similar al de la fruta fresca; a la cual se le adicionó leche en proporción 1:1 y se agregó azúcar hasta alcanzar 20°Brix en todas las muestras, luego fueron presentadas a los panelistas en pequeños vasos descartables uniformes de fondo blanco. Se pidió a 21 panelistas consumidores de lúcuma, evaluar el color, olor y sabor. La evaluación se hizo mediante el método cuantitativo con escala hedónica no estructurada de 10 cm con valores extremos de: “me desagrada mucho” y “me agrada mucho”; y con valor central de “ni me agrada ni desagrada” (Villarreal 2000). La hoja de evaluación se presenta en el Anexo 2.

Finalmente se pidió evaluar dos muestras seleccionadas mediante las evaluaciones sensoriales anteriores a 30 panelistas consumidores de lúcuma, mediante una prueba de aceptación. La hoja de evaluación se presenta en el Anexo 3.

3.5 Metodología experimental

Para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación el trabajo experimental se realizó en etapas, las que se muestran en la Figura 11 y se describen a continuación:

Figura 11. Esquema experimental para la optimización del deshidratado de 2 biotipos de lúcumo (*Pouteria lucuma* (R y P) *Kuntze*) usando la técnica de superficie de respuesta y la obtención de una mezcla de harinas.



3.5.1 Recolección

Antes de la recolección se identificaron los árboles correspondientes a los biotipos I (seda) y II (palo); este trabajo se hizo en conjunto con la bachiller en agronomía Isela Febres. Los frutos de lúcuma fueron recolectados teniendo como indicador para su cosecha el color que presenta la cáscara debajo de los sépalos, el cual cambia de tonalidad de verde a amarillo conforme madura, este parámetro se tomo en base a la experiencia del personal de este fundo como de la bachiller anteriormente mencionada.

Se cosecharon frutos de los árboles marcados para cada biotipo, de color amarillo debajo de los sépalos, sin presencia de ataque por insectos, de color verde en la cáscara.

3.5.2 Evaluación del estado de madurez

Los frutos correspondientes al biotipo I y II; fueron almacenados a temperatura ambiente (23°C) y 85% de humedad relativa. Se evaluaron cada dos días los cambios de pH, % acidez, textura, sólidos solubles y azúcares reductores.

3.5.3 Caracterización de la materia prima

Se realizaron los análisis fisicoquímicos de: humedad, proteínas, extracto etéreo, fibra y cenizas a los dos biotipos de lúcuma, los cuales fueron seleccionados como adecuados para el proceso de secado.

3.5.4 Obtención de la harina de lúcuma

Para la obtención de la harina de lúcuma se siguió el flujo de operaciones que se muestran en la Figura 12 y que se describen a continuación:

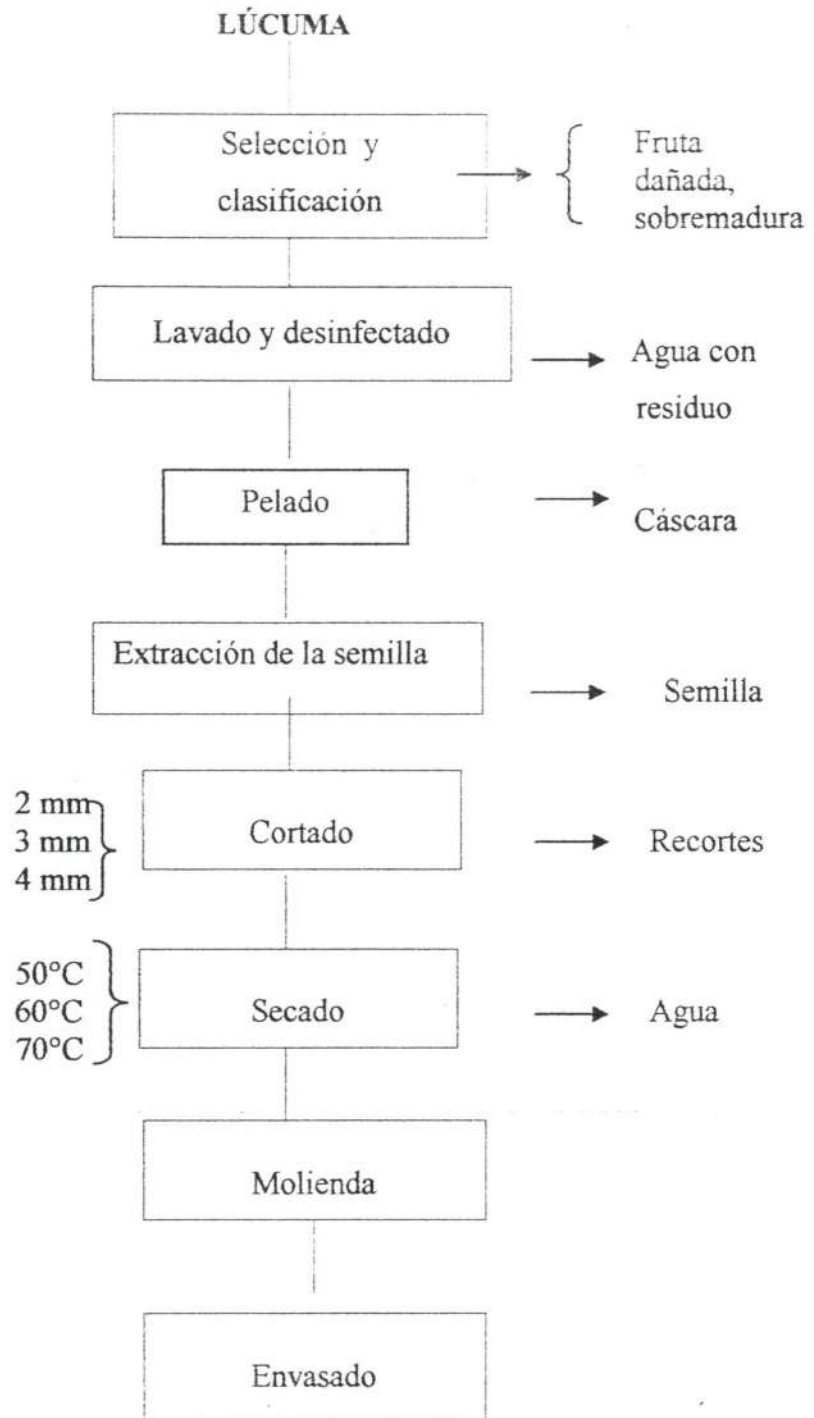


Figura 12. Flujo de operaciones para la obtención de harina de lúcumá

Selección y clasificación

Se seleccionaron frutas sin picaduras o magulladuras, libres de daños físicos. Esto se hizo en forma manual y por inspección visual.

Lavado y desinfectado

Se lavó la fruta con agua corriente con la finalidad de eliminar la materia adherida a la superficie; luego de la limpieza se desinfectó la lúcuma sumergiéndose en una solución de tego 0,5% por 15 minutos como lo recomiendan Guevara y Cacho (1993); citado por Concha (2001).

Pelado

Se llevó a cabo en forma manual, retirándose la cáscara con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable hasta obtener la parte comestible.

Extracción de la semilla

La fruta se partió por la mitad y se extrajo la semilla con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable.

Cortado

Las mitades peladas y desprovistas de semilla fueron rebanadas transversalmente con una rebanadora manual, la cual se reguló para obtener el espesor planteado para el secado: 2, 3 y 4 mm.

Secado

El deshidratado se realizó en un secador de cabina con aire caliente a las temperaturas de 50, 60 y 70 °C. En esta operación se evaluó la pérdida de humedad con respecto al tiempo para su posterior análisis.

Molienda

Se realizó en un molino de martillo de malla 200 (75µm), para obtener una molienda fina.

Envasado

Las harinas obtenidas de los tratamientos fueron colocadas en bolsas de aluminio-polietileno para ser posteriormente analizadas con respecto al color y olor.

3.5.5 Evaluación del proceso de secado

Para evaluar el proceso de secado a diferentes temperaturas y diferentes espesores de las rodajas, en primer lugar a partir de los valores experimentales de la humedad (en base seca) con respecto al tiempo, se determinó la curva de velocidad de secado en función de la humedad libre (Anexo 5), con la finalidad de observar la existencia de los diferentes periodos típicos de esta operación.

Para determinar el tiempo de secado se aplicó la ecuación (25) con tres términos de la serie. A partir de los resultados experimentales se procedió como se indica en el ítem 3.4.7.

3.5.6 Optimización del proceso de secado

En la etapa de optimización se procedió a evaluar los resultados de color y olor obtenidos para las muestras de lúcumas deshidratadas a las tres temperaturas y con tres niveles de espesor (como se indicó anteriormente). La optimización se realizó empleando la metodología de superficie de respuesta que consiste en determinar los parámetros de un modelo de segundo orden para las variables respuestas (Δ olor y Δ color) en función de las variables independientes (espesor y temperatura) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2 \quad (26)$$

Donde:

X1: Temperatura

X2: Espesor de la rodaja

Y : Δ color, y Δ olor (evaluados independientemente)

b0, b1, b2, b11, b22, b12 : coeficientes de regresión estimados.

Una vez obtenidos los parámetros b_0 a b_{12} se procedió a encontrar un mínimo mediante la diferenciación de la variable respuesta con respecto a cada variable independiente:

$$\frac{\partial Y}{\partial X_1} = 0 \qquad \frac{\partial Y}{\partial X_2} = 0$$

De donde se obtienen los valores de X_1 y X_2 que minimizan la variable respuesta.

Para realizar la optimización se empleó el programa STATGRAPHICS 6.0, en el cual se evaluaron las respuestas por separado (Δ olor y Δ color) y también en forma conjunta, de donde se obtuvieron los valores de espesor y temperatura que minimizan las diferencias entre la muestra original y las procesadas, considerados estos valores como los parámetros óptimos de trabajo para el secado de los biotipos de lúcuma empleados.

3.5.7 Caracterización del producto final.

Se realizaron: el análisis proximal, vitamina C, solubilidad, granulometría y curvas de adsorción de las muestras consideradas óptimas.

3.5.8 Determinación de la proporción más adecuada de mezcla

Se realizaron mezclas a partir de las harinas obtenidas como óptimas para los dos biotipos de lúcuma, de acuerdo al Cuadro 7. Las mezclas obtenidas fueron evaluadas a través de un análisis sensorial como se indica en el ítem 3.4.8.

Cuadro 7. Porcentajes de mezcla de harinas de lúcumo de los biotipos I y II

Biotipo	Porcentaje de mezcla (%)										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
Biotipo I (seda)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Biotipo II (palo)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

Cuadro 8. Diseño experimental

Tratamiento	X1	X2
1	50	2
2	70	3
3	60	2
4	60	3
5	50	3
6	70	2
7	50	4
8	60	4
9	70	4

X1: Temperatura (°C)

X2: Espesor de la rodaja (mm)

3.6 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental que se usó para la etapa de optimización fue un diseño factorial 3^2 con arreglo randomizado; es decir dos variables independientes con tres niveles cada una, lo que dio 9 muestras experimentales o tratamientos por cada biotipo de lúcumo como se muestra en el Cuadro 8; donde las variables independientes son la temperatura (50, 60 y 70°C) y el espesor (2, 3 y 4 mm) de la rodaja.

Para la evaluación de las mezclas se empleó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) donde los tratamientos fueron las mezclas y los bloques los panelistas.

El análisis estadístico realizado tanto para las medidas de color como para las medidas sensoriales de olor (por tratarse de una escala lineal los puntajes sensoriales se consideraron como variables continuas) fue el ANVA, a partir del cual se evaluó estadísticamente el efecto de las variables independientes sobre la respuesta. Valores de probabilidad menores a 0,05 mostraron una influencia significativa.

Para analizar estadísticamente las respuestas de aceptación en las mezclas se realizó un ANVA para encontrar si existió diferencia significativa ($\alpha=0,05$) entre las evaluaciones realizadas por los panelistas. Se aplicó posteriormente la prueba de Duncan para evaluar cuales tratamientos (o mezclas) fueron las más aceptadas.

Finalmente para la evaluación de la preferencia se aplicó una tabla estadística recomendada por Pedrero y Pangborn (1989) con $p=1/2$ y de una cola.

En las isotermas para evaluar la calidad de ajuste del modelo de GAB se calculó el porcentaje de la raíz del cuadrado medio (%RMS), según lo recomendado por

Bizot (1983) mencionados por Lievonen y Roos (2002). La ecuación planteada es la siguiente:

$$\%RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{W_{calci} - W_{expi}}{W_{expi}} \right]^2} \times 100$$

Donde:

n= número de puntos experimentales

Wcalci= cantidad de humedad experimental

Wexpi= cantidad de humedad calculada

Para el caso de las curvas de secado, se evaluó exactitud de la predicción mediante el estadístico RMS o Raíz del cuadrado medio (Kaymark-Ertekin, 2002):

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{X_{calci} - X_{expi}}{X_{expi}} \right]^2}$$

Donde:

Xcalci= valor calculado del modelo

Xexpi= valor experimental

N= número de datos experimentales.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación del estado de madurez

Las variaciones de las diferentes características evaluadas: pH, acidez, textura, °Brix y azúcares reductores se representan en las Figuras 13 al 17 y en el Anexo 4.

En los dos biotipos de lúcuma se apreció que el pH durante la maduración a temperatura ambiente tiene una tendencia a la alcalinidad, presentando oscilaciones como puede observarse en la Figura 13. Con respecto al biotipo I, éste registró un rango de pH de 3,80 a 5,04 como se observa en el Cuadro 9; con respecto al biotipo II presentó el mismo comportamiento con un rango de pH de 4,40 a 4,53 como se observa en la Figura 13 y Anexo 4. Estos valores son menores a los encontrados por Castro (1999), quien solo en la cosecha encontró valores de 5,7 a 5,9 de pH en los grupos de lúcuma de seda de la zona de Huaral. Debido a las fluctuaciones que presentó el pH no existe una tendencia clara para ser considerado como indicador del grado de madurez de la lúcuma.

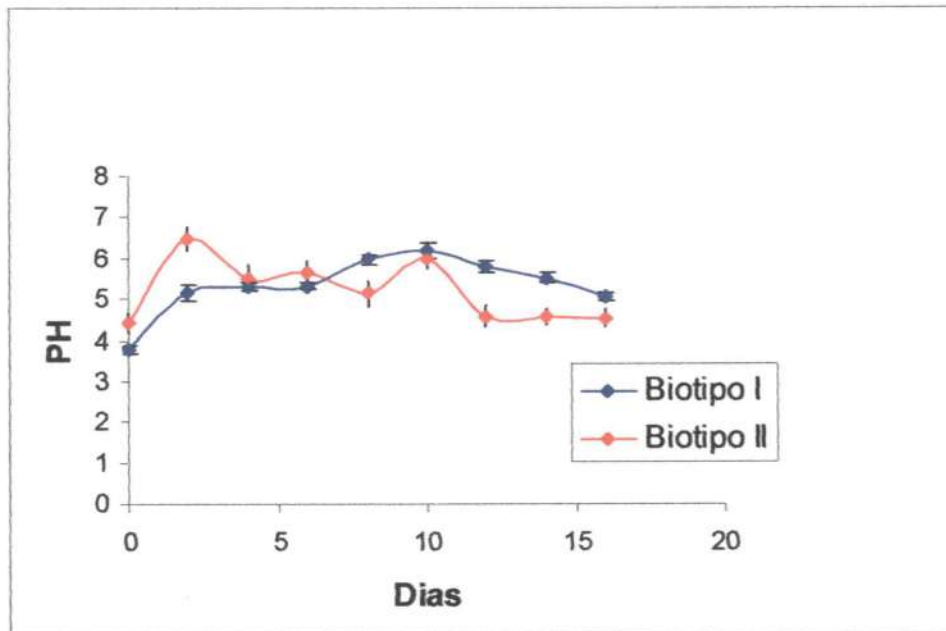


Figura 13. Variación del pH con el tiempo durante el almacenaje de los biotipos de lúcum a temperatura ambiente (23°C).

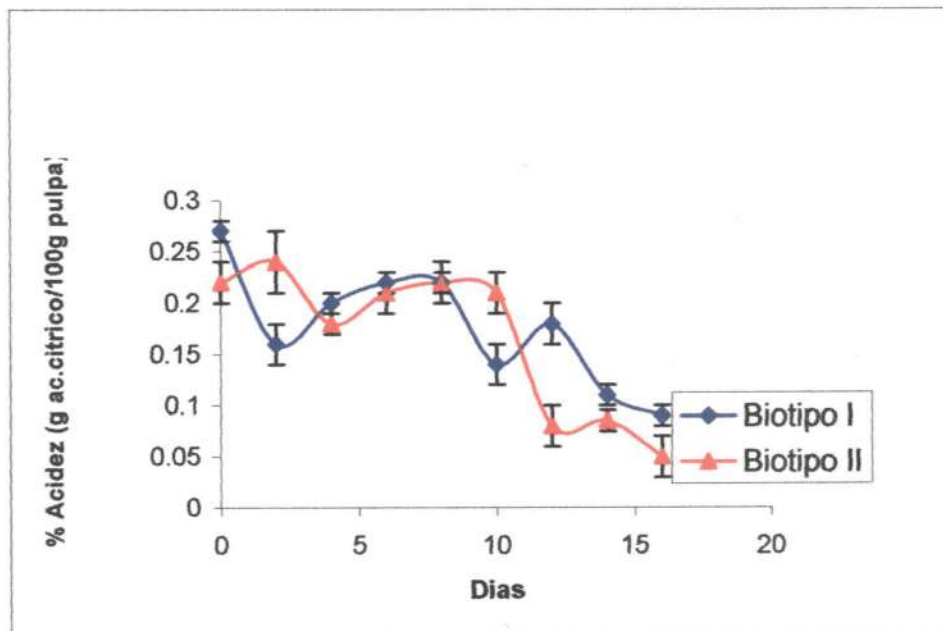


Figura 14. Variación de la acidez con el tiempo durante el almacenaje de los biotipos de lúcum a temperatura ambiente (23°C).

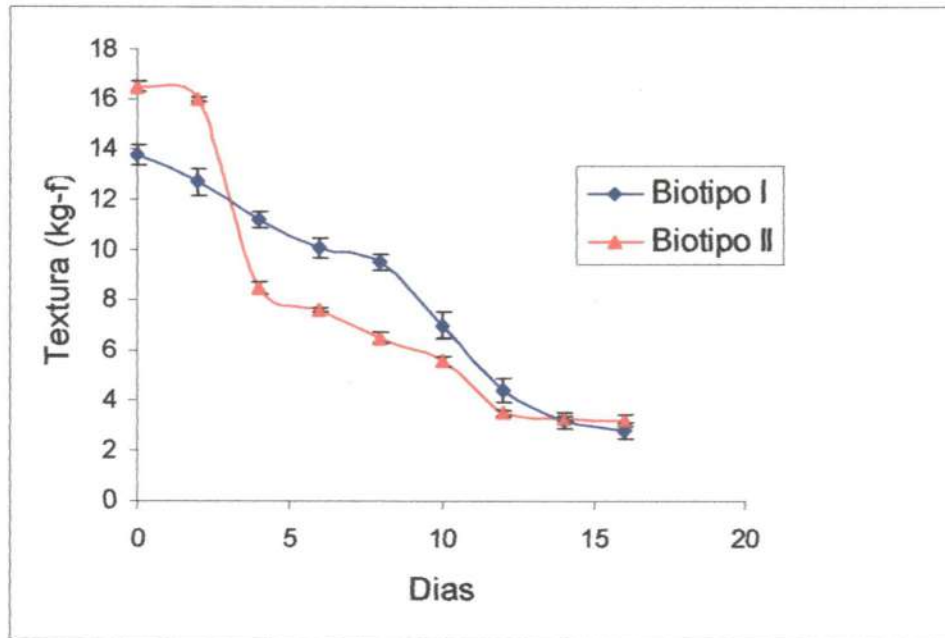


Figura 15. Variación de la textura con el tiempo durante el almacenaje de los biotipos de lúcum a temperatura ambiente (23°C).

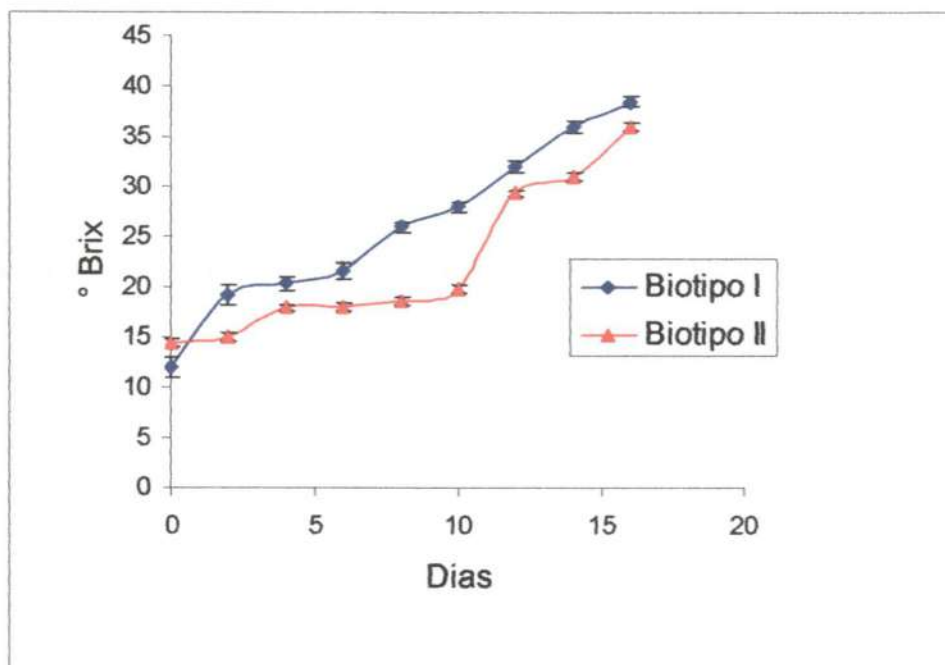


Figura 16. Variación de los Brix° con el tiempo durante el almacenaje de los biotipos de lúcum a temperatura ambiente (23°C).

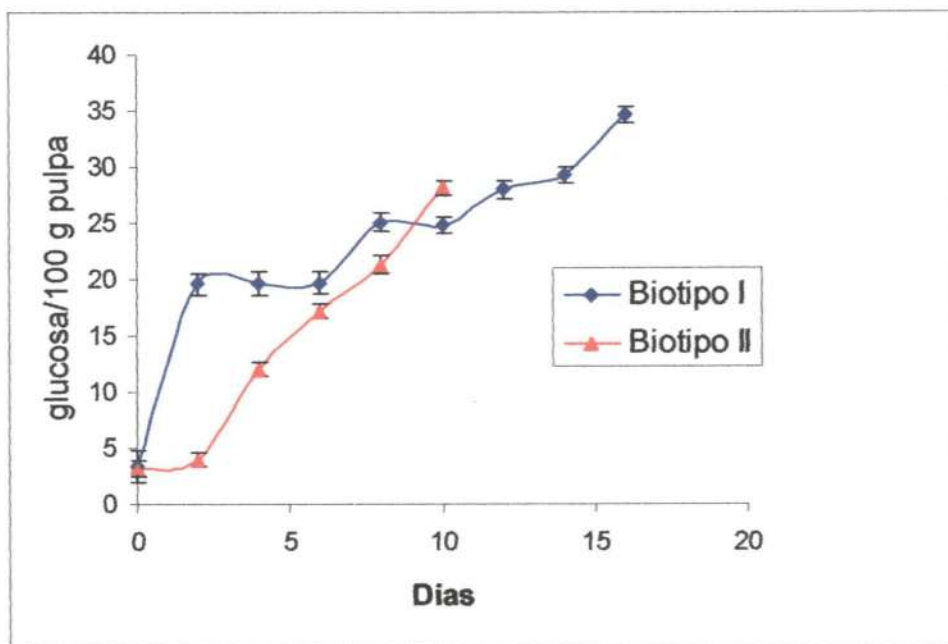


Figura 17. Variación de los azúcares reductores con el tiempo durante el almacenaje de los biotipos de lúcum a temperatura ambiente (23°C).

Con respecto a la variación de la acidez, los biotipos I (seda) y II (palo) presentaron rangos comprendidos entre 0,27 a 0,09 g ac. cítrico/100g pulpa y 0,22 a 0,05 g ac. cítrico/100g pulpa respectivamente, como se aprecia en la Figura 14 y Anexo 4; estos valores registran oscilaciones con una tendencia general a la disminución pero inferiores a los encontrados por Castro (1999) quien reportó rangos comprendidos entre 0,83 a 0,65 g ac. cítrico/100g pulpa de lúcuma de seda. Al respecto Wills *et al.* (1998) menciona que durante la maduración, disminuye el contenido de ácidos orgánicos, pues son respirados o convertidos en azúcares. Los ácidos pueden ser considerados como una reserva más de la fruta, siendo por consiguiente, de esperar que su contenido decline en el periodo de actividad metabólica máxima, en el curso de la maduración.

Lizana (1986), mencionado por Castro (1999) detectó que en la lúcuma los ácidos orgánicos predominantes correspondieron al ácido cítrico y succínico en cantidades superiores a otros ácidos. Existen diversas causas que afectan la acidez de los frutos durante la maduración, una de ellas es la temperatura, pues parte de los ácidos son utilizados en la respiración, proceso que se incrementa con la temperatura, el cultivo y/o las prácticas culturales entre otros.

En los dos biotipos de lúcuma se apreció que la pérdida de dureza tuvo una tendencia decreciente como se puede observar en la Figura 15 y Anexo 4; para el caso del biotipo I desciende desde 13,8 a 7 kg-f en el décimo día valor que se consideró adecuado para su manipulación en el proceso de secado; llegando al dieciseisavo día hasta una dureza de 2,8 kg-f en la que pulpa de disgregaba y se adhería a las manos. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Castro (1999) quien registró una dureza de 13,04 kg-f para los frutos recién cosechados; asimismo Lizana (1986) mencionado por Castro (1999), encontró que en la primera etapa de la maduración de la lúcuma se registra una resistencia de 11,8 a 15,5 kg-f llegando en la última etapa de maduración a 0,55 kg-f con una pulpa muy deshidratada y con una piel que se desprende fácilmente. En el caso del biotipo II se apreció también una pérdida de dureza de 16,5 kg-f hasta 6,5 kg-f al octavo día, la cual se consideró adecuada para su manipulación en el proceso

de secado, en la fase final de su maduración registró una dureza de 3,2 Kg-f al dieciseisavo día, pero no se observó desprendimiento fácil de la cáscara sino una textura corchosa.

Los sólidos solubles mostraron un incremento con el tiempo, como se aprecia en la Figura 16 y Anexo 4 para ambos biotipos de lúcuma. El biotipo I presentó un rango comprendido entre 12 y 38,5°Brix, siendo 28°Brix la cantidad de sólidos solubles correspondientes al décimo día de almacenamiento, cuando el fruto presentó adecuada textura para su manipulación en el proceso de secado. En el caso del biotipo II presentó un contenido de sólidos solubles entre 14,4°Brix al inicio y 36°Brix al final del periodo, con 18,6°Brix al octavo día, cuando es adecuado para realizar el proceso de secado. Castro (1999) reportó mayores valores en el contenido de sólidos solubles para lúcuma de seda, quien encontró valores de 16,65 hasta 24,94°Brix en la cosecha los que fueron aumentando hasta 32 a 39 °Brix en 15 días de maduración similares a los alcanzados en 16 días para el presente trabajo.

El contenido de sólidos solubles en el fruto cosechado puede variar de acuerdo al biotipo, clima, condiciones agronómicas, época de cosecha, etc. Así Lizana (1986); citado por Castro (1999), encontró un contenido de sólidos solubles entre 9 a 17,1°Brix en lúcumas de seda.

Con respecto al contenido de azúcares reductores los dos biotipos estudiados presentaron una tendencia a incrementarse durante el almacenamiento, lo que está relacionado con el aumento de sólidos solubles. En la Figura 17 y Anexo 4 se aprecia que el contenido de azúcares reductores al décimo día de almacenamiento fue de 24,80 mg glucosa/100g de pulpa para el biotipo I y 21,32 mg glucosa/100g de pulpa para el biotipo II al octavo día.

Lizana (1986); mencionado por Castro (1999), detectó en lúcuma la presencia de glucosa, fructosa e inositol. En el estado o etapa 1 de la maduración detectó solo sacarosa y trazas de glucosa y fructosa, luego detectó inositol en pequeñas

cantidades, posteriormente encontró glucosa en mayor proporción y luego en las últimas etapas de la maduración observó un incremento de fructosa; considerando a la sacarosa (azúcar no reductor) presente en la lúcuma como un constituyente tercero en importancia.

De los resultados encontrados se decidió que el momento propicio para el secado fue al décimo día de la cosecha para lúcuma del biotipo I (seda) y al octavo día de la cosecha para el biotipo II (palo).

4.2 Caracterización de la materia prima

4.2.1 Análisis químico proximal y contenido de vitamina C

El Cuadro 9 presenta el análisis químico proximal y contenido de vitamina C de los biotipos I y II, apreciándose algunas diferencias en la composición química de ambos biotipos.

Cabe resaltar que el contenido de humedad de ambos biotipos de lúcuma es bajo al compararlos con las hortalizas y frutas que tienen más de 80% de humedad, tal es el caso de los pepinos, lechuga que llegan hasta 95% de humedad (Will, *et al.* 1998); así también frutas como la papaya, la piña, plátano, naranja contienen humedades en el rango de 74 a 90% (Arias y Toledo, 2000), lo que facilita su deshidratación en comparación con estos frutos.

Cuadro 9. Análisis químico proximal de biotipos y vitamina C de lúcuma (en 100 g de parte comestible)

Componente	Biotipo I (seda) (g/100 g pulpa)		Biotipo II (palo) (g/100g pulpa)	
	Base Húmeda (%)	Base seca (%)	Base Húmeda (%)	Base seca (%)
Humedad	62,00 ± 3,46	163,15	59,52 ± 1,60	147,03
Proteína	3,30 ± 0,36	8,68	3,15 ± 0,20	7,78
Extracto etéreo	0,60 ± 0,2	1,58	0,31 ± 0,10	0,77
Fibra bruta	1,47 ± 0,21	3,86	1,17 ± 0,25	2,89
Ceniza	0,96 ± 0,14	2,53	1,02 ± 0,20	2,52
ELN	31,67 ± 3,28	83,35	34,83 ± 2,00	86,04
Vitamina C(*)	3,36 ± 0,5	9,20	--	

± Desviación estándar

(*) Expresado mg ac. ascórbico/ 100g de pulpa

-- No se detectó

De acuerdo a las determinaciones realizadas en lúcumas por diversos investigadores (Trigoso, 1954; Brenner, 1965; Gonzáles, 1991, los valores de humedad, proteína, fibra bruta, cenizas y carbohidratos encontrados en el presente trabajo están dentro del siguiente rango, establecido a partir del Cuadro 1: 36 - 72% de humedad, 1,44 - 4,88% de proteína, 0,03- 1,48% de extracto etéreo, 25 - 54,6% de carbohidratos, 0,86 - 1,30% de fibra bruta y 0,70 - 1,05% de ceniza.

Con relación al contenido de vitamina C, no se detectó ácido ascórbico en el biotipo II mientras que el biotipo I registró 3,6 mg de ácido ascórbico/100g de pulpa, valor superior a lo reportado por el Instituto Nacional de Salud (1996) de 2,2 mg ácido ascórbico/100g de pulpa.

4.2.2 Evaluación de las isotermas

En las Figuras 18, 19 y 20 se muestran las isotermas de desorción experimentales y ajustadas al modelo de G.A.B, a las temperaturas de 50, 60 y 70 °C, para los dos biotipos de lúcumas estudiados. Asimismo en el Anexo 5 se reportan los valores experimentales y ajustados de las isotermas de desorción. Se puede apreciar en todos los casos que el biotipo II (palo) presenta menores valores de humedad de equilibrio para diferentes actividades de agua con respecto al biotipo I (seda), quedando por debajo de la isoterma correspondiente al biotipo I (seda) en cualquiera de las temperaturas.

Este comportamiento estaría relacionado con el mayor contenido de sólidos solubles que presenta el biotipo I (seda) al momento de ser procesado (28 °Brix) con respecto al biotipo II (18 °Brix).

Como puede observarse en las Figuras 21 y 22 se representan las isotermas de desorción ajustadas al modelo de GAB de las lúcumas de los biotipos I y II respectivamente donde se aprecia la influencia de la temperatura sobre la tendencia de las curvas. Así conforme se incrementa la temperatura de 50 a 70°C, ésta se aproxima al eje de las abscisas.

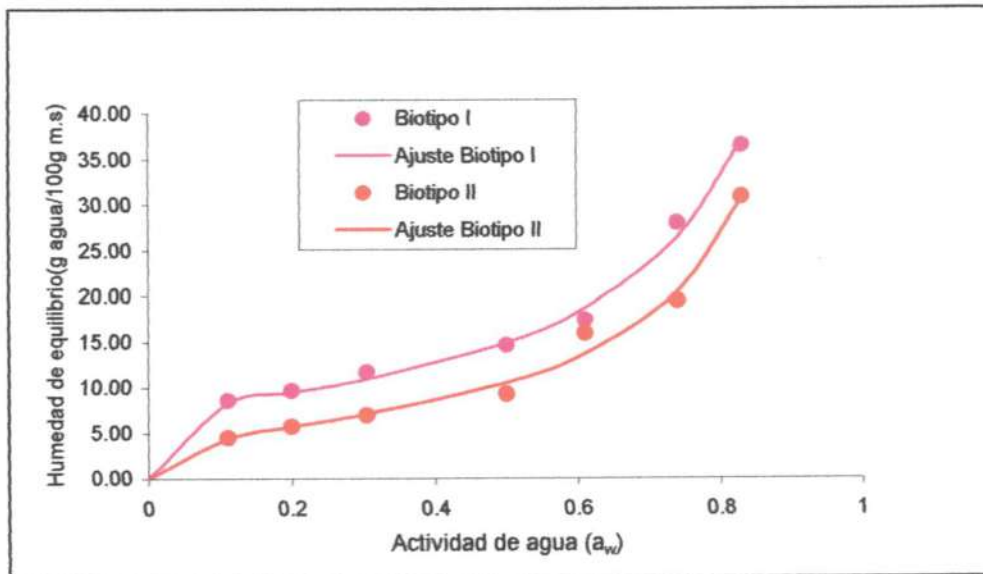


Figura 18. Isothermas de desorción de lúcumas biotipos I y II ajustados al modelo de G.A.B a la temperatura de 50°C.

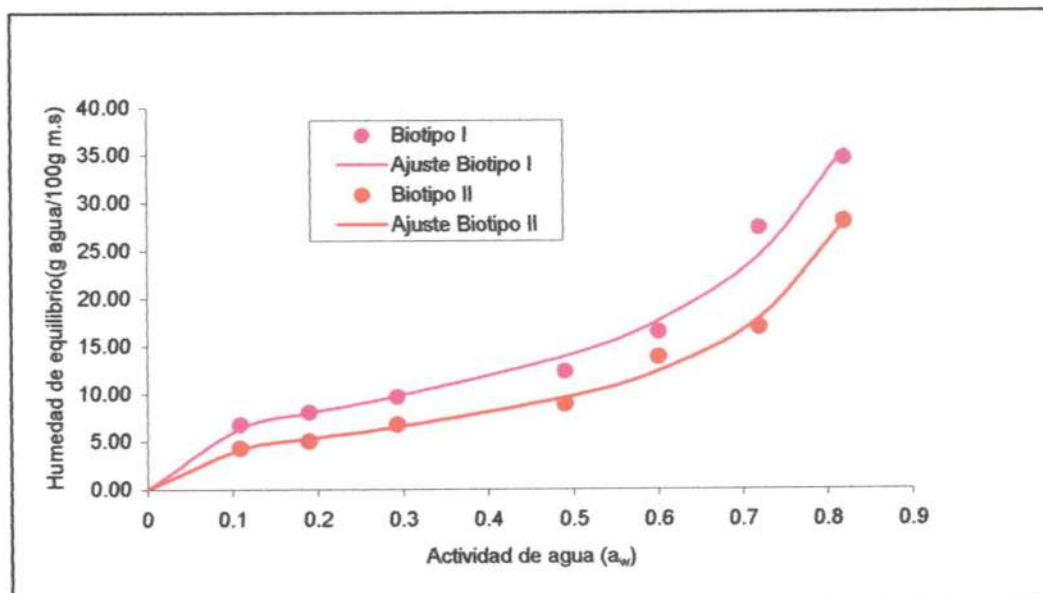


Figura 19. Isothermas de desorción de lúcumas biotipos I y II ajustados al modelo de G.A.B a la temperatura de 60°C.

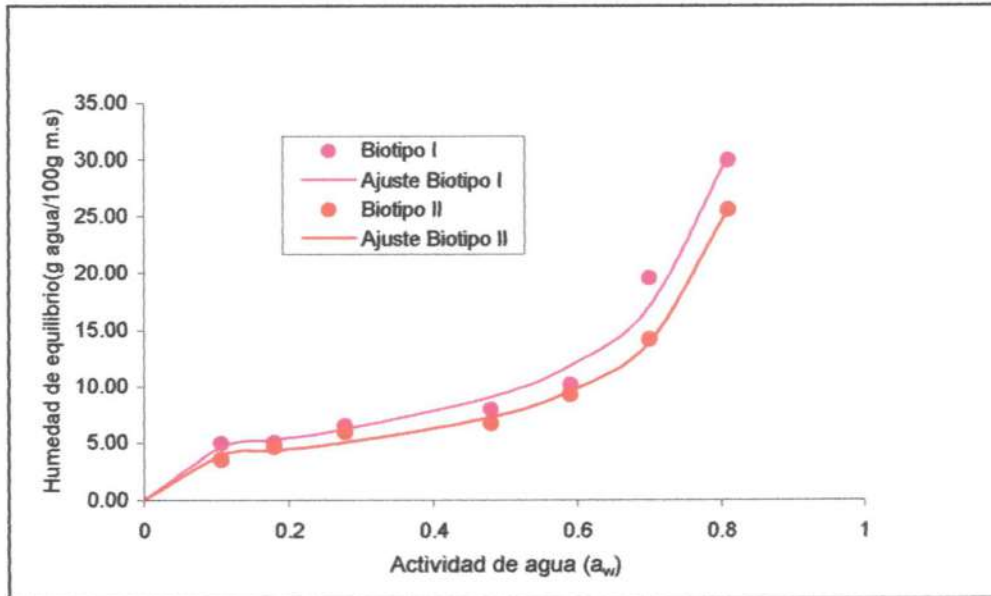


Figura 20. Isothermas de desorción de lúcumas biotipos I y II ajustados al modelo de G.A.B a la temperatura de 70°C.

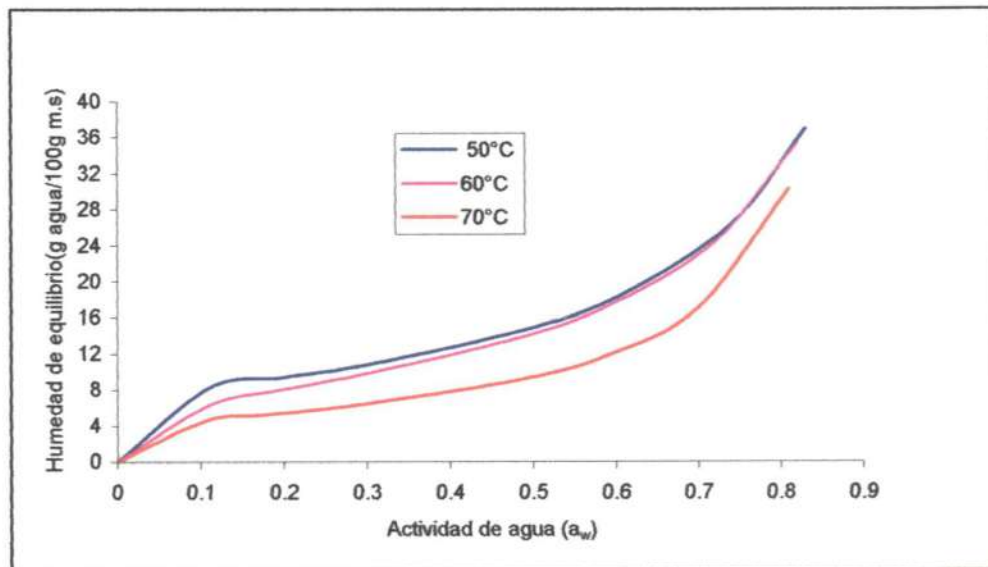


Figura 21. Isotherma de desorción de lúcuma biotipo I ajustado al modelo de G.A.B a la temperatura de 50, 60 y 70°C.

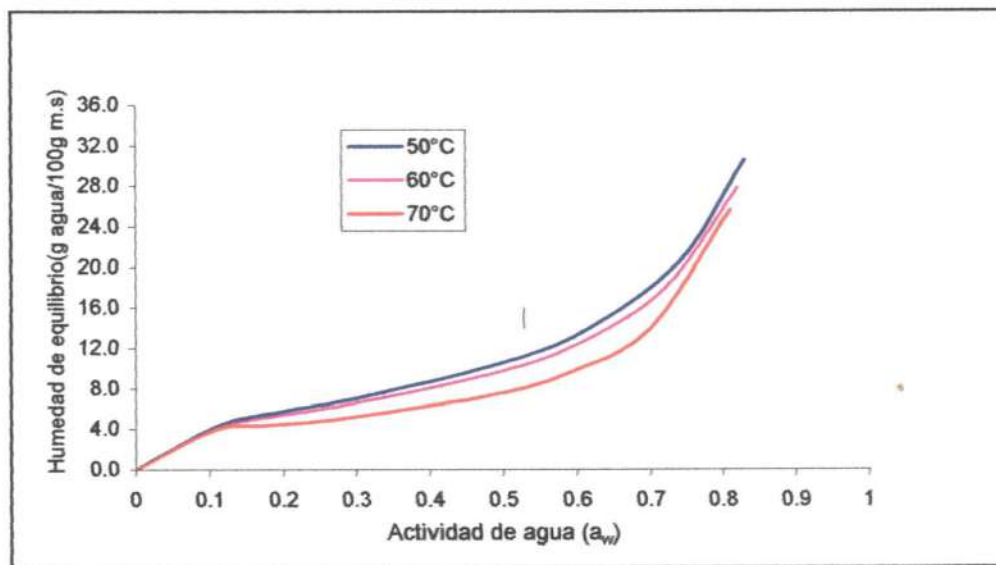


Figura 22. Isotherma de desorción de lúcuma biotipo II ajustado al modelo de G.A.B a la temperatura de 50, 60 y 70°C.

Al respecto Vidal *et al.*(1986), mencionan que para un mismo producto y a una humedad relativa constante se encuentra que la humedad de equilibrio del producto disminuye cuando aumenta la temperatura; Barbosa y Vega (2000) indican que el efecto de la temperatura es de gran importancia debido a que los alimentos no son mezclas ideales y la actividad de agua cambia con la temperatura.

En el Cuadro 10 se muestran los valores de humedad relativa del aire de secado y humedades de equilibrio de la lúcuma, para los biotipos I (seda) y II (palo) respectivamente. Los valores de humedad de equilibrio expresados en g agua/ 100 g materia seca, indican el mínimo valor de humedad que se podrán obtener en el secado de lúcuma para ambos biotipos. Se observa que para el biotipo II (palo) se pueden obtener contenidos de humedad menores que en el caso del biotipo I (seda) para cualquiera de las tres temperaturas del aire de secado (50, 60 y 70°C).

Asimismo se hallaron los valores de la constante (C) y el factor de corrección (K) del modelo de GAB los cuales están relacionados con el calor de sorción de la primera capa y con las propiedades de la molécula de la multicapa (Cuadro 11 y 12).

Al aplicar el porcentaje de la raíz del cuadrado medio (%RMS) de los valores estimados con los observados se encontró un buen ajuste del modelo para las isotermas de desorción para ambos biotipo de lúcuma, los cuales se encuentran desde 4,6% a 10% para el biotipo I (seda) y de 6-8% para el biotipo II (palo) (Cuadro 11 y 12); los cuales son considerados como un buen ajuste de las isotermas los que para valores menores a 10% son considerados como buenos (McLaughlin y Magee, 1988; mencionados por Lievonen y Roos, 2000). Asimismo Lievonen y Roos, 2002; encontraron valores de RMS entre 2,52% a 9,62% en sorción de agua de modelos de alimentos para estudios de transición vítrea y cinética de reacción.

Cuadro 10. Valores de humedad relativa del aire de secado y contenido de humedad de equilibrio de lúcumas de los biotipos I y II.

Temperatura °C	Humedad Relativa %	Humedad de equilibrio g agua/100g m.s Biotipo I (seda)	Humedad de equilibrio g agua/100g m.s Biotipo II (palo)
50	22	9,7083	6,0089
60	20	8,1267	5,3836
70	15	5,0274	4,1822

Cuadro 11. Valor de monocapa y constantes determinadas a partir de las isotermas de desorción aplicando el modelo de G.AB para lúcumas biotipo I (seda) y el % RMS.

Temperatura °C	Valor de Monocapa m_0 (g agua/ 100g m.s)	C	K	%RMS
50	7,9116	129,1768	0,9471	4,6
60	7,7948	22,8728	0,9542	7,0
70	4,5600	70,0541	1,0492	10

Cuadro 12. Valor de monocapa y constantes determinadas a partir de las isotermas de desorción aplicando el modelo de G.A.B para lúcumo biotipo II (palo) y el % RMS.

Temperatura °C	Valor de Monocapa m_0 (g agua/ 100g m.s).	C	K	%RMS
50	5,6704	17,4048	0,9841	8,0
60	5,1292	21,1227	0,9971	6,0
70	3,5940	239,063	1,0614	7,9

4.3 Curvas de secado

Se obtuvieron los valores de humedad en base seca con respecto al tiempo de secado para los diferentes tratamientos ensayados, los que se muestran en el Anexo 6.

En las Figuras 23 y 24 se muestran las curvas de velocidad de secado en función de la humedad libre de la lúcuma para las temperaturas de 50, 60 y 70°C cuando el espesor de la rodaja fue de 2mm; para los otros espesores los mismos resultados se muestran en el Anexo 7. Se observó que no existe un periodo de velocidad constante en la totalidad de los experimentos realizados. Este comportamiento coincide con lo reportado por Kaymak-Ertekin (2002) para el secado de pimientos verdes y rojos; Ganjyal *et al.* (2003) en el secado de sapota (*sapodilla*); Krokida *et al.* (2003) en el secado de diversos vegetales como pimienta, zanahoria, calabaza, maíz, tomate, espinaca, apio entre otros y en general solo se presenta un solo periodo el de velocidad decreciente, constituyendo este periodo la totalidad del proceso de secado como lo menciona Geankoplis (1998).

Los valores de difusividad efectiva calculados se muestran en los Cuadros 13 y 14 para los dos biotipos de lúcuma; como puede apreciarse estos valores se incrementan conforme aumenta la temperatura desde 50 a 70°C cuando se mantiene constante el espesor de la fruta. Estas difusividades son similares a los registrados para otros frutos como la manzana secada a 66°C con $6,40 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, peras secadas a 68°C de $9,6310^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ (Barboza y Vega, 2000). Así mismo Saravacos (1986) y Rizvi (1986) mencionados por Kaymak-Ertekin (2002) indican valores de difusividad comprendidos entre 10^{-10} - $10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ y que son similares a los encontrados por este autor en su estudio de pimientos rojos y verdes; pero además menciona que se han encontrado valores de difusividad de $8,9 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ secados a 70°C en pimiento verde, indicando que esta variabilidad depende de la composición del alimento, característica de proceso de secado y del modelo usado para los cálculos.

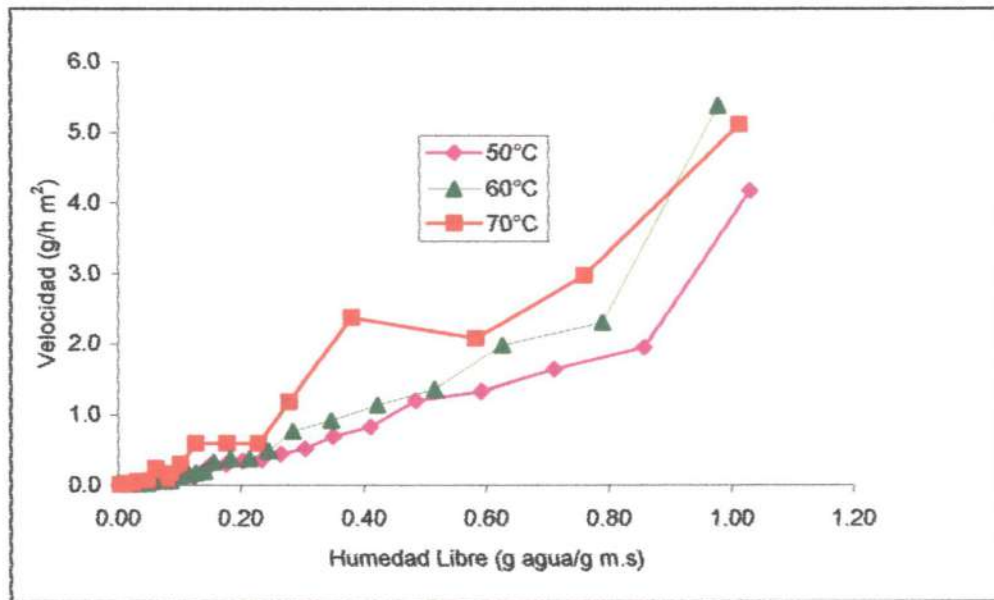


Figura 23. Velocidad de secado en función a la humedad libre de la lúcuma biotipo I de 2 mm de espesor y temperaturas de 50, 60 y 70°C.

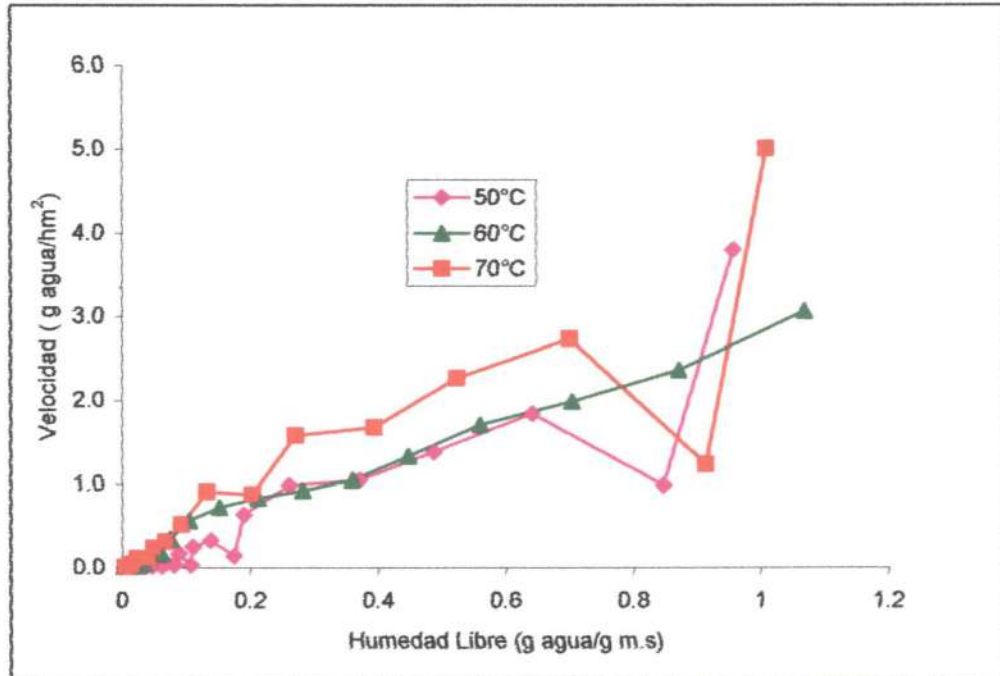


Figura 24. Velocidad de secado en función a la humedad libre de la lúcuma biotipo II de 2 mm de espesor y temperaturas de 50, 60 y 70°C.

Cuadro 13. Valores de difusividad efectiva para el secado de lúcuma biotipo I (seda).

Temperatura °C	Espesor (mm)	Difusividad (m ² /s)	Intervalo de Confianza de Difusividad (m ² /seg)	R ²
50	2	6,685x10 ⁻¹⁰	5,69-7,67x10 ⁻¹⁰	0.91
60	2	7,899x10 ⁻¹⁰	6,51-9,29 x10 ⁻¹⁰	0.92
70	2	1,130x10 ⁻⁹	0,88-1,37x10 ⁻⁹	0.90
50	3	1,319x10 ⁻⁹	1,10-1,54 x10 ⁻⁹	0.94
60	3	1,162x10 ⁻⁹	0,98-1,33 x10 ⁻⁹	0.93
70	3	1,436x10 ⁻⁹	1,21-1,65 x10 ⁻⁹	0.93
50	4	1,082 x10 ⁻⁹	0,92-1,25 x10 ⁻⁹	0,95
60	4	1,784 x10 ⁻⁹	1,53-2,03 x10 ⁻⁹	0,95
70	4	2,891 x10 ⁻⁹	2,47-3,30 x10 ⁻⁹	0,95

Cuadro 14. Valores de difusividad efectiva para el secado de lúcuma biotipo II (palo).

Temperatura °C	Espesor (mm)	Difusividad (m ² /s)	Intervalo de Confianza de Difusividad (m ² /seg)	R ²
50	2	9,161x10 ⁻¹⁰	0,71-1,13x10 ⁻⁹	0,94
60	2	8,505x10 ⁻¹⁰	6,73-1,03 x10 ⁻⁹	0,93
70	2	9,751x10 ⁻⁹	0,734-1,21x10 ⁻⁹	0,93
50	3	1,161x10 ⁻⁹	1,10-1,54 x10 ⁻⁹	0,93
60	3	1,532x10 ⁻⁹	0,95-1,36 x10 ⁻⁹	0,93
70	3	1,876x10 ⁻⁹	1,24-1,82 x10 ⁻⁹	0,92
50	4	1,010 x10 ⁻⁹	1,49-2,26 x10 ⁻⁹	0,95
60	4	1,869 x10 ⁻⁹	1,70-2,34 x10 ⁻⁹	0,94
70	4	2,475 x10 ⁻⁹	2,09-2,86 x10 ⁻⁹	0,94

En las Figuras 25 al 30 se comparan los datos experimentales de secado con los estimados mediante el modelo de difusión (ecuación 25), donde se aprecia que la humedad disminuye continuamente hasta aproximarse como límite a la humedad de equilibrio que corresponde a las condiciones constantes del aire de secado.

En el Cuadro 15 se muestran los valores RMS de los datos experimentales y estimados de los valores de humedad para ambos biotipos de lúcuma, los cuales se encuentran entre 0,11 a 0,44 para lúcuma del biotipo I (seda) y entre 0,19 a 0,47 para lúcuma del biotipo II; estos valores se encuentran próximos a lo reportado por Kaymak-Ertekin (2002) quien encontró valores de RMS comprendidos entre 0,15 a 0,30 en el secado de pimientos verdes y rojos.

El tiempo de secado calculado para las diferentes condiciones en ambos biotipos de lúcuma se muestra en los Cuadros 16 y 17. Los tiempos teóricos hallados difieren de los experimentales debido a los cambios en el área de la superficie de desecación y a la creación de gradientes de presión en el interior del producto como lo mencionan Brennan *et al.* (1998). Estas diferencias no son significativas ($\alpha=0,05$) para los tiempos de secado de ambos biotipos de lúcuma en forma general (Anexo 8). Sin embargo se puede observar que para la temperatura de 50°C y espesor 3 mm el tiempo calculado es la mitad del experimental. Esta variación puede deberse al empleo de un sólo valor de difusividad calculado a partir de toda la curva de secado.

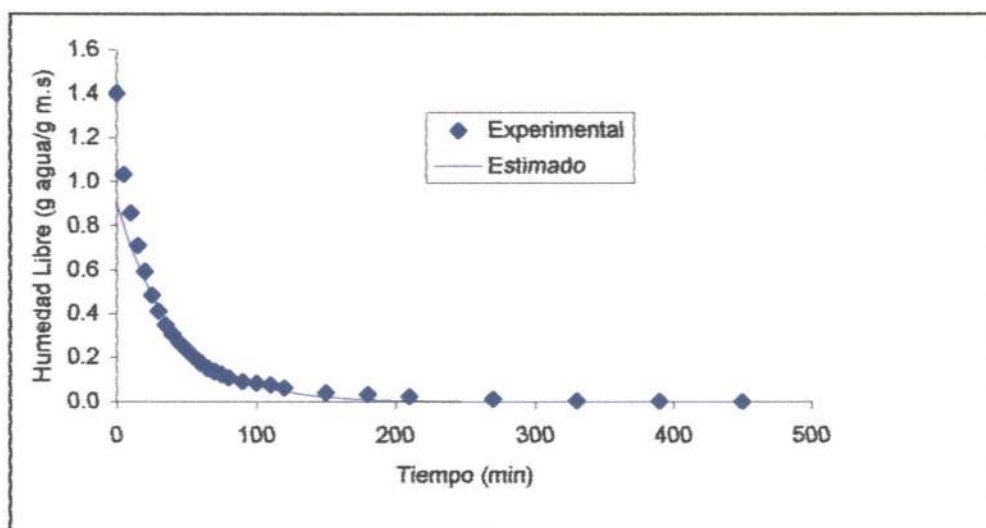


Figura 25. Curva de secado experimental y estimado de lúcumas biotipo I de espesor 2 mm y temperatura de secado 50°C.

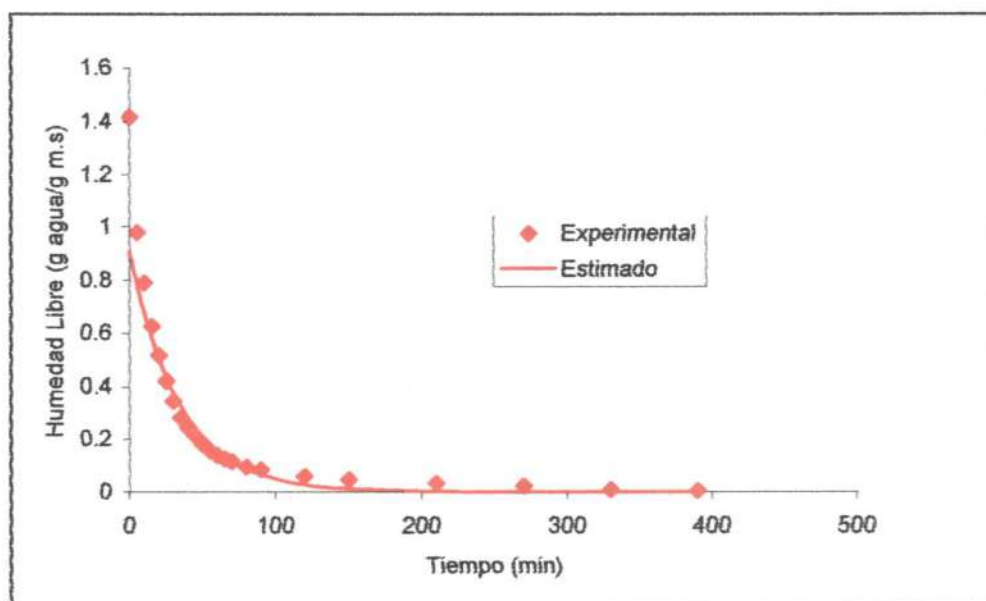


Figura 26. Curva de secado experimental y estimado de lúcumas biotipo I de espesor 2 mm y temperatura de secado 60°C.

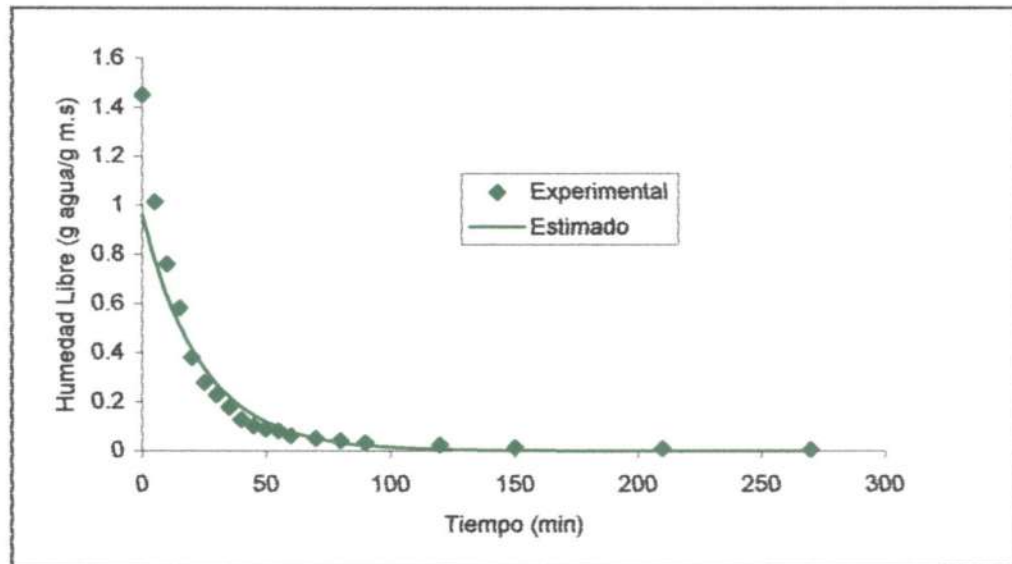


Figura 27. Curva de secado experimental y estimado de lúcumá biotipo I de espesor 2 mm y temperatura de secado 70°C.

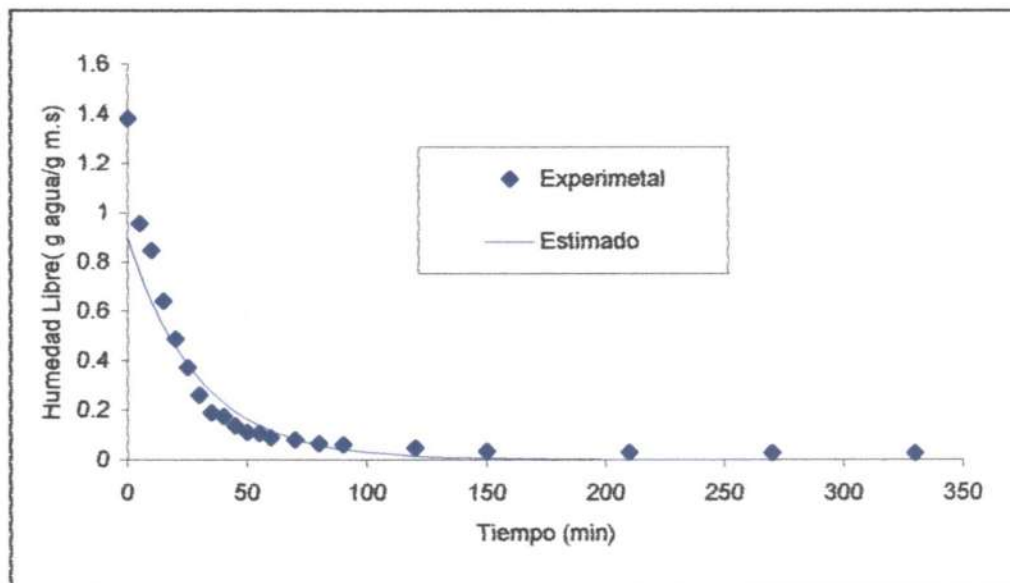


Figura 28. Curva de secado experimental y estimado de lúcumá biotipo II de espesor 2 mm y temperatura de secado 50°C.

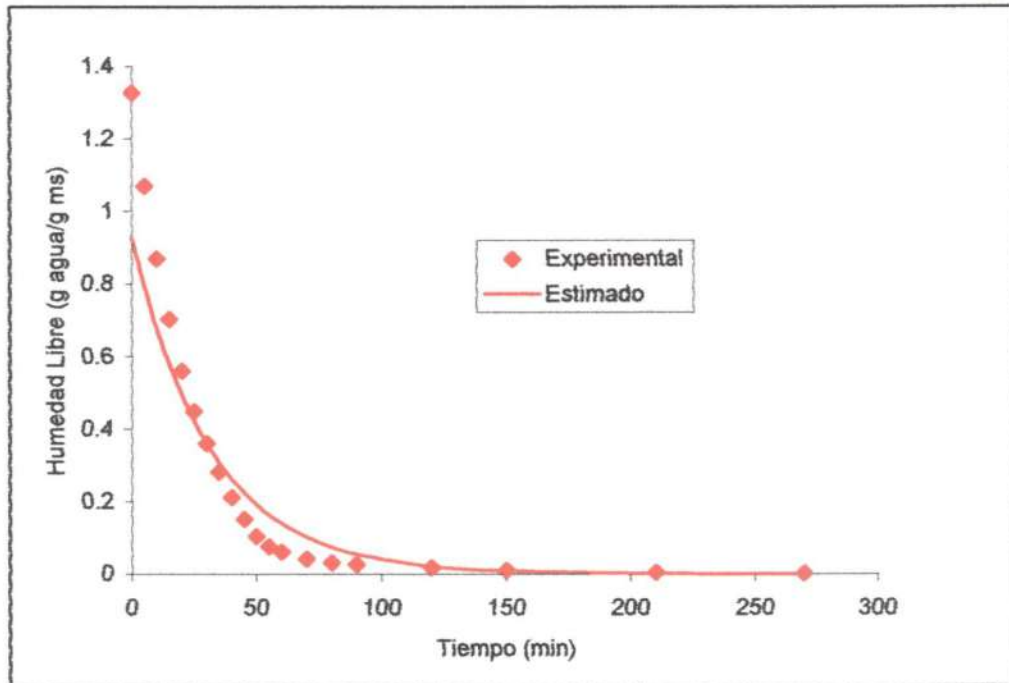


Figura 29. Curva de secado experimental y estimado de lúcumas biotipo II de espesor 2 mm y temperatura de secado 60°C.

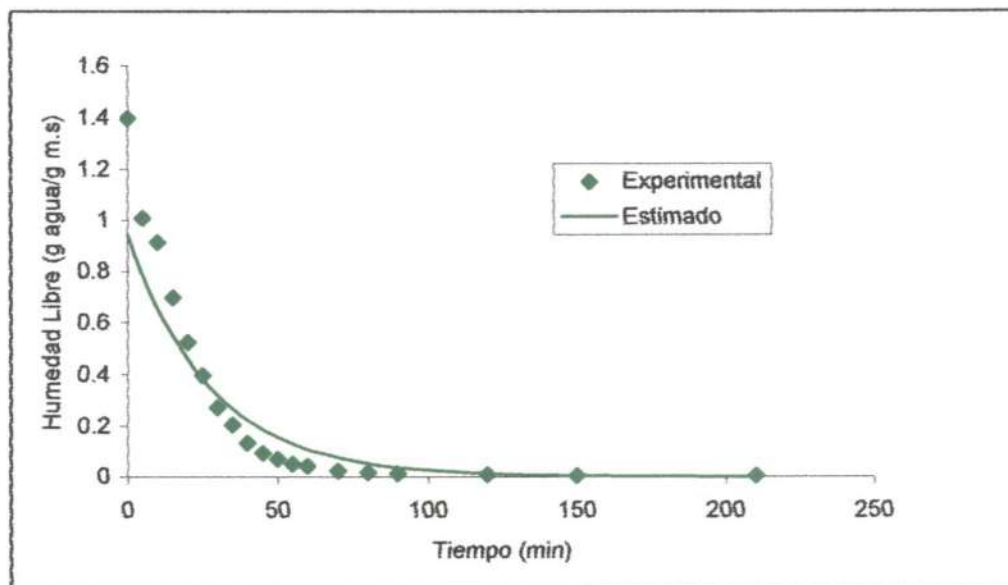


Figura 30. Curva de secado experimental y estimado de lúcumas biotipo II de espesor 2 mm y temperatura de secado 70°C.

Cuadro 15. Valores del raíz del cuadrado medio (RMS) de los valores experimentales y estimados de la curva de secado de la lúcuma biotipo I y II.

Temperatura °C	Espesor (mm)	RMS Biotipo I (seda)	RMS Biotipo II (palo)
50	2	0,44	0,23
60	2	0,43	0,34
70	2	0,46	0,47
50	3	0,14	0,25
60	3	0,13	0,27
70	3	0,16	0,28
50	4	0,11	0,23
60	4	0,12	0,23
70	4	0,12	0,19

Cuadro 16. Tiempo de secado teórico y experimental para lúcumá del biotipo I (seda).

Temperatura °C	Espesor (mm)	Tiempo teórico (horas)	Tiempo Experimental (horas)
50	2	3,00	3,50
60	2	2,20	3,50
70	2	1,16	1,16
50	3	3,00	6,50
60	3	3,14	4,50
70	3	2,11	2,20
50	4	7,10	9,50
60	4	3,70	3,50
70	4	2,05	2,00

Cuadro 17. Tiempo de secado teórico y experimental para lúcumá del biotipo II (palo).

Temperatura °C	Espesor (mm)	Tiempo teórico (horas)	Tiempo Experimental (horas)
50	2	1,44	2,0
60	2	1,44	1,0
70	2	1,20	0,83
50	3	2,60	4,5
60	3	1,77	1,33
70	3	1,46	1,16
50	4	5,29	7,5
60	4	2,57	2,0
70	4	2,07	2,0

4.4 Optimización del proceso de secado

4.4.1 Análisis de superficie de respuesta para la harina de lúcuma del biotipo I

4.4.1.1 Análisis de superficie de respuesta del color

En el Cuadro 18 se muestran las medidas de color L^* , a^* y b^* realizadas en las muestras de harina de lúcuma rehidratada, así como en la muestra fresca, así mismo se observan los valores de ΔE correspondientes a la diferencia de estas medidas con respecto a la muestra fresca. Los resultados mostrados son el promedio de tres repeticiones para cada tratamiento.

Como se puede apreciar los valores de a y b decrecen conforme se incrementa la temperatura cuando el espesor es el mismo, lo que indica una pérdida de color rojo ($+a$) y color amarillo($+b$) los cuales combinados proporcionan un color casi naranja a este biotipo de lúcuma. Con relación al valor de L al compararlo con la fruta fresca se incrementó indicando que el color de la harina se hace más pálido (claro).

El análisis de varianza de la diferencia de color ΔE , que se presenta en el Cuadro 19 indica que existe una influencia significativa de la temperatura y espesor de la lúcuma en las variaciones del color, lo que se puede apreciar también en la Figura 31.

El modelo cuadrático ajustado para los valores de diferencia de color, como primer paso para la optimización, resultó con un coeficiente de correlación de $R=0,93$, indicando que la variable ΔE se puede representar como una superficie de respuesta (Figura 32), en función de los cambios de temperatura y espesor, durante el secado de la lúcuma biotipo I:

$$\Delta E = 5,077089 + 0.669267X_1 - 0.0046483X_1^2 - 4.46483X_2 + 0.683167X_2^2 + 0.002545X_1X_2$$

X1: Temperatura

X2: Espesor de la rodaja

La optimización de los parámetros (temperatura y espesor) se realizó empleando el programa STATGRAPHICS 6,0, procedimiento que se muestra representado en la Figura 33, donde el asterisco indica que a 50°C y 2,34 mm de espesor se encontrará el menor valor de ΔE , es decir donde el color de la harina de lúcuma rehidratada se acercara más al color de la fruta fresca.

Cuadro 18. Medidas de color de la fruta fresca y harina rehidratada de lúcumá biotipo I (promedio de tres repeticiones).

Temperatura	Espesor de la rodaja (mm)	L	a	b	ΔE
Fruta Fresca		61,66 ± 0,02	17,57 ± 0,1	59,17 ± 0,10	
50	2	79,22 ± 0,01	9,39 ± 0,20	46,05 ± 0,08	23,397
50	3	78,26 ± 0,03	8,3 ± 0,10	42,68 ± 0,12	25,168
50	4	77,55 ± 0,03	8,15 ± 0,15	41,80 ± 0,08	25,356
60	2	79,53 ± 0,03	7,7 ± 0,22	42,33 ± 0,07	26,464
60	3	79,39 ± 0,02	7,36 ± 0,10	43,14 ± 0,07	25,991
60	4	80,94 ± 0,01	6,64 ± 0,10	41,26 ± 0,10	28,495
70	2	79,17 ± 0,03	7,35 ± 0,20	40,80 ± 0,10	27,359
70	3	78,47 ± 0,02	6,79 ± 0,15	40,27 ± 0,12	27,495
70	4	78,08 ± 0,01	6,56 ± 0,10	36,16 ± 0,07	30,336

± Desviación estandar

Cuadro 19. Análisis de varianza de las medidas de diferencia al color (ΔE) de lúcumá del biotipo I.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	Fcalculado	p-value
X1	1	21,1651	21,1651	28,29	0,0130
X2	1	2,0898	8,0898	10,81	0,0461
X1 ²	1	0,4321	0,4321	0,58	0,5025
X1X2	1	0,2590	0,2590	0,35	0,5976
X2 ²	1	0,9334	0,9334	1,25	0,3454
Error total	3	2,2444	0,7481		
Total	8	33,124			

X1= Temperatura

X2= Espesor de la rodaja

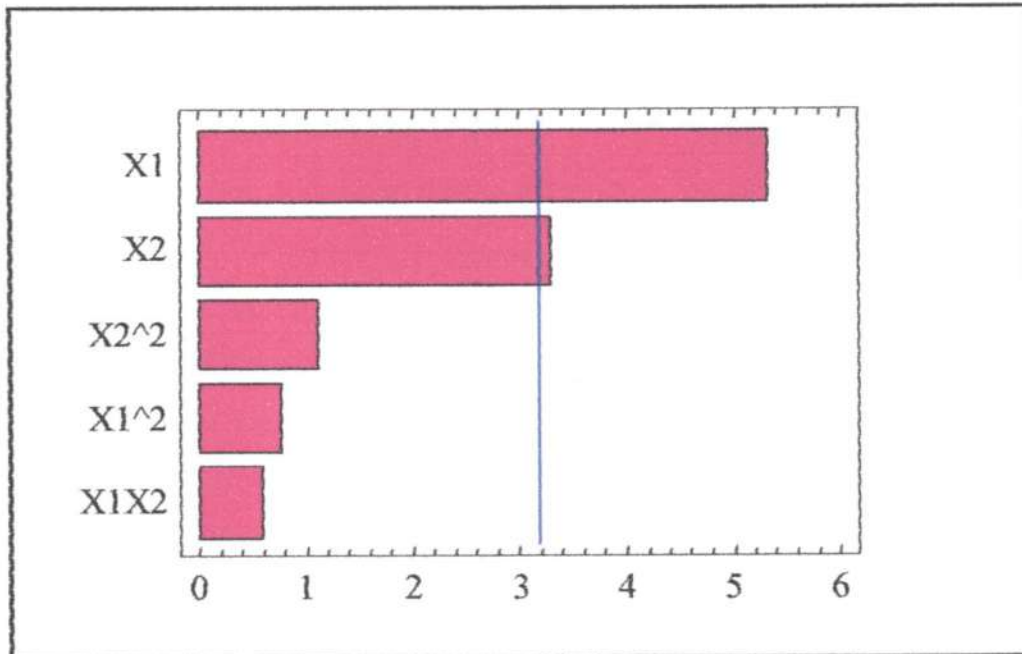


Figura 31. Diagrama de pareto para la variación de color (ΔE) en lúcuma deshidratada del biotipo I.

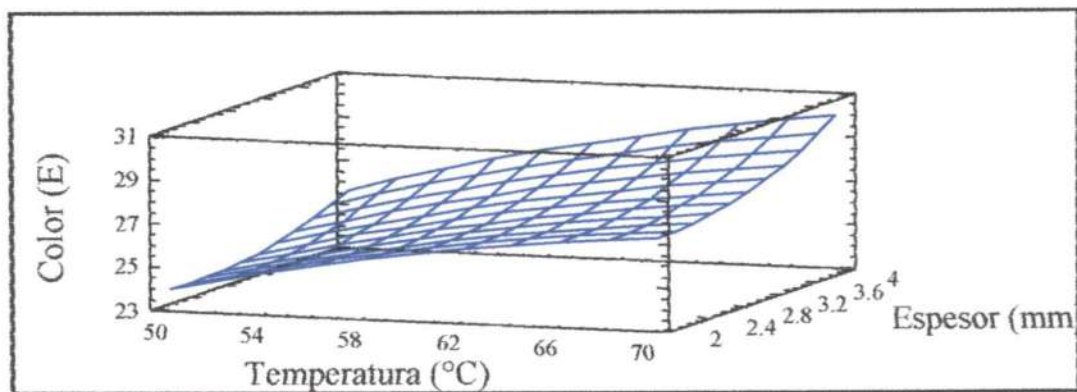


Figura 32. Representación de la superficie de respuesta del color en función de la temperatura y el espesor de la lúcuma biotipo I.

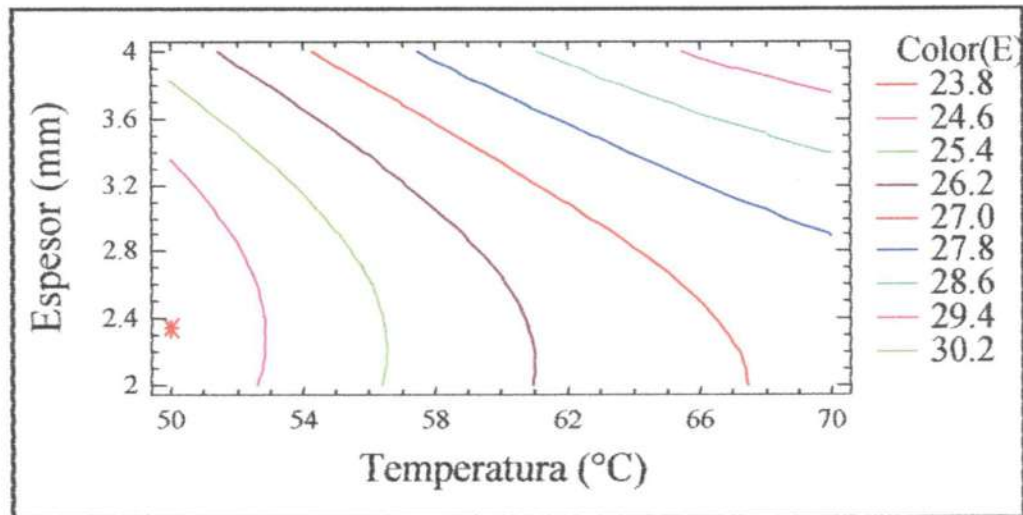


Figura 33. Mapa de contornos de superficie que representa la variación del color con la temperatura y el espesor.

4.4.1.2 Análisis de superficie de respuesta del olor

El Cuadro 20 muestra las calificaciones realizadas por el panel sensorial en cuanto a la diferencia que presentó la intensidad del olor de la muestra de harina de lúcuma rehidratadas y la muestra fresca. Es posible observar que estas diferencias fueron menores para las muestras tratadas a menor temperatura (50°C). El ANVA mostrado en el Cuadro 21 indica que la diferencia del olor fue influenciada significativamente por el factor temperatura, al presentar un valor de $p < 0,05$. Esta influencia se puede apreciar también en la Figura 34, donde se observa en el diagrama de pareto que sólo el factor temperatura sobrepasa el límite de significancia ($\alpha=0,05$). En cuanto a la superficie de respuesta para los valores de la diferencia de intensidad del olor de las harinas de lúcumas deshidratadas, con respecto a las muestras frescas, en función de la temperatura de secado y espesor de las rodajas; se encontró un coeficiente de correlación (regresión) de 0,85 para el siguiente modelo:

$$\text{DIO} = -21.1361 + 0.707917X_1 - 0.00528333X_1^2 - 0.0086667X_2 + 0.131667X_2^2 - 0.01025X_1X_2$$

X1: Temperatura

X2: Espesor de la rodaja

Cuadro 20. Resultados de la evaluación de olor de la harina proveniente del biotipo I (seda).

Muestra	X1	X2	Variable respuesta (olor) cm
1	50	2	0,38
2	50	3	0,55
3	50	4	0,65
4	60	2	1,22
5	60	3	1,62
6	60	4	1,62
7	70	2	1,67
8	70	3	0,97
9	70	4	1,53

X1: Temperatura

X2: Espesor de la rodaja

Cuadro 21. Análisis de varianza de las medidas de olor del biotipo I (seda).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	Fcalculado	p-value
X1	1	1,11802	1,11802	11,38	0,0433
X2	1	0,04681	0,0468167	0,48	0,5397
X1 ²	1	0,55827	0,558272	5,68	0,0973
X1X2	1	0,04202	0,042025	0,43	0,5598
X2 ²	1	0,03467	0,0346722	0,35	0,5943
Error total	3	0,29481	0,0982731		
Total	8	2,09462			

X1: Temperatura

X2: Espesor de la rodaja

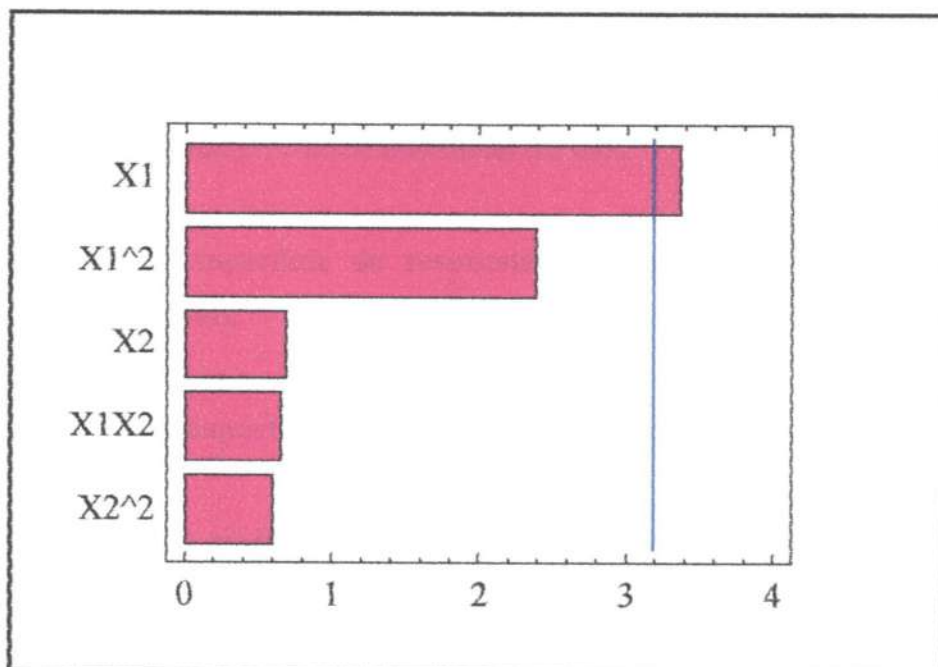


Figura 34. Diagrama de pareto del análisis de olor de la harina de lúcuma biotipo I (seda).

Este modelo se representa graficando en la Figura 35, donde se observa claramente que las menores diferencias en la intensidad del olor se presentaron en el área cercana a la temperatura de 50°C. En la Figura 36 se aprecia el diagrama de contornos para la misma respuesta y el asterisco indica el punto donde se obtendrán la mínima diferencia de intensidad del olor con respecto a la muestra fresca, este punto (50°C y 2,28 mm) se obtuvo a través de la superficie de respuesta, empleando el programa STATGRAPHICS 6,0.

Asimismo en la Figura 37 se ha representado el conjunto de parámetros óptimos (50°C de temperatura y 2,23 mm de espesor) tomando en cuenta las dos características estudiadas: color e intensidad del olor.

4.4.2 Análisis de superficie de respuesta para la harina de lúcuma del biotipo II (palo).

4.4.2.1 Análisis de superficie de respuesta del color

Se determinaron las medidas de color en las harinas rehidratadas en lecturas L* a*, b* y se halló el valor de ΔE como se muestra en el Cuadro 22 para las muestras obtenidas de los biotipos II; asimismo las medidas de color efectuadas a la fruta fresca. Los resultados mostrados son el promedio de tres repeticiones para cada tratamiento.

El valor de a y b presentaron un decremento con respecto a la fruta fresca, es decir un menor tono rojo y amarillo, también se observa un incremento del valor L indicando que el color de la harina es más pálido respecto a la fruta fresca. Así mismo se registra mayores valores de “a” en la harina de lúcuma del biotipo I con respecto al biotipo II, lo cual significa una tonalidad roja mayor y en combinación con el amarillo (valor b) da una tonalidad naranja, mientras que el valor “L” del biotipo II fue mayor tanto en la fruta fresca como en los tratamientos a la lúcuma del biotipo I.

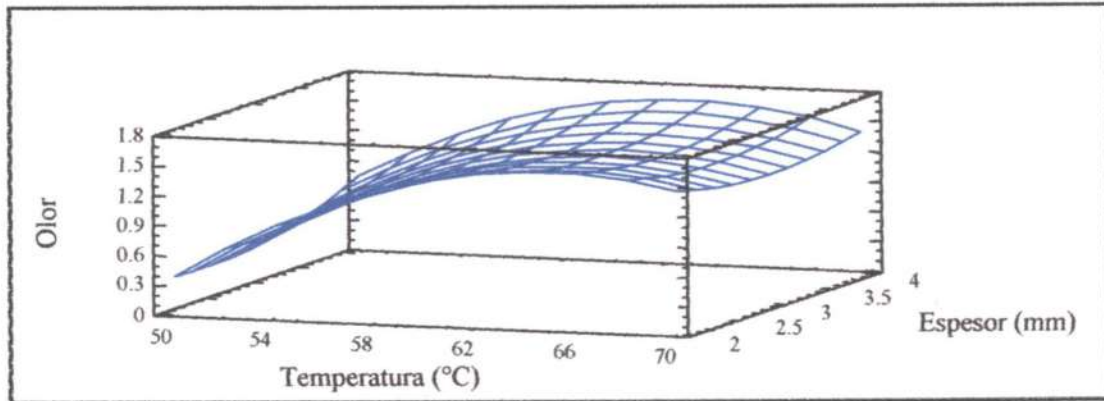


Figura 35. Representación de la superficie de respuesta del olor en función de la temperatura y el espesor de la lúcumo biotipo I (seda).

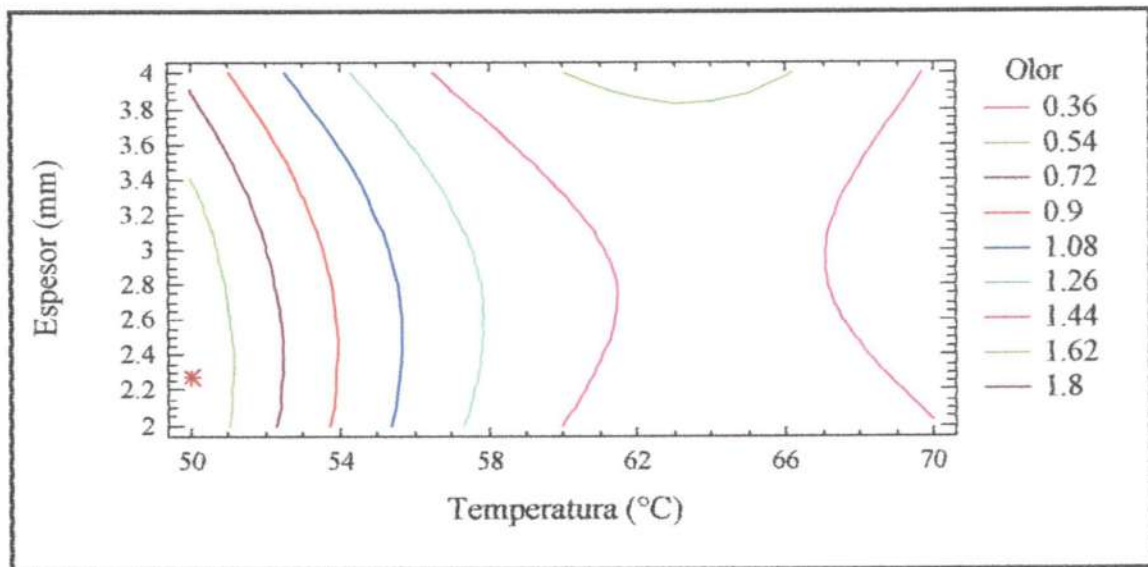


Figura 36. Mapa de contornos de superficie que representa la variación del olor con la temperatura y el espesor

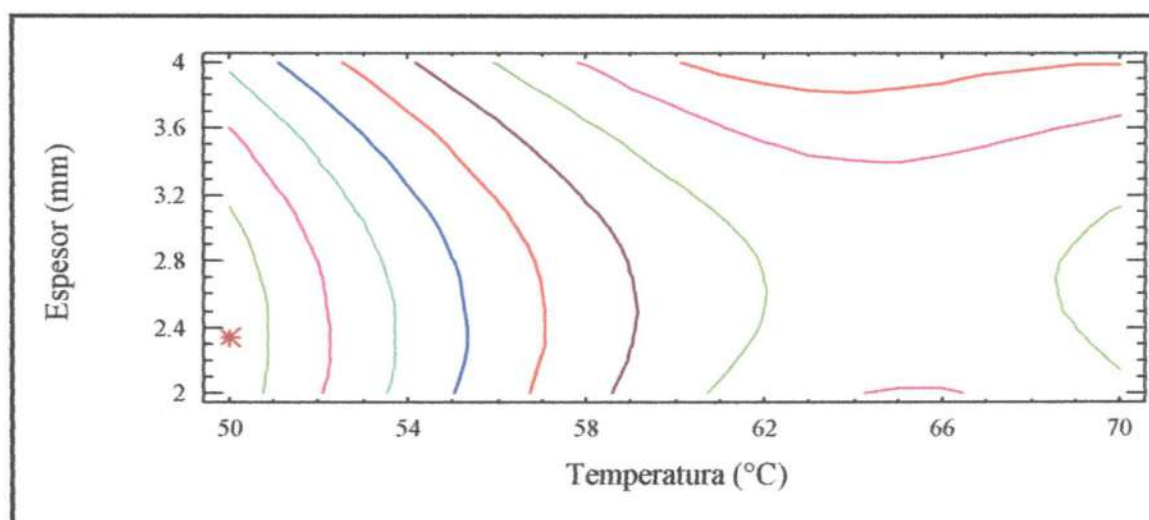


Figura 37. Optimización de las respuestas de color y olor de la harina de lúcuma procedente del biotipo I (seda).

Cuadro 22 Medidas de color de la fruta fresca y harina rehidratada de lúcumá biotipo II.

Temperatura	Espesor de la rodaja (mm)	L	a	b	ΔE
Fruta Fresca		66,37 ± 0,01	9,35 ± 0,10	56,72 ± 0,08	
50	2	84,75 ± 0,01	2,89 ± 0,20	44,06 ± 0,10	23,234
50	3	84,03 ± 0,02	3,33 ± 0,30	45,35 ± 0,20	21,850
50	4	83,96 ± 0,03	2,25 ± 0,20	38,45 ± 0,15	26,336
60	2	84,62 ± 0,03	2,04 ± 0,10	41,07 ± 0,12	25,128
60	3	84,09 ± 0,02	2,18 ± 0,40	41,83 ± 0,10	24,231
60	4	83,78 ± 0,01	2,43 ± 0,10	42,67 ± 0,12	23,418
70	2	84,90 ± 0,02	1,85 ± 0,20	42,25 ± 0,30	24,678
70	3	83,77 ± 0,01	1,75 ± 0,20	39,37 ± 0,40	25,720
70	4	83,96 ± 0,02	1,60 ± 0,20	42,03 ± 0,20	21,192

± Desviación estándar

En el ANVA mostrado en el Cuadro 23 y en el diagrama de Pareto de la Figura 38 se observa que las variables temperatura y espesor de la rodaja no tuvieron influencia significativa en el color de la harina de lúcuma a un nivel de significación de 0,05.

4.4.2.2 Análisis de superficie de respuesta del olor

En el Cuadro 24 se muestran las calificaciones con relación a la diferencia de intensidad del olor con respecto a la fruta fresca. Como se indica en este cuadro a medida que se incrementa la temperatura los valores son mayores, es decir se alejan del olor de la fruta fresca.

El ANVA mostrado en el Cuadro 25 indica que la variable temperatura ejerce influencia significativa sobre la intensidad del olor de la harina de lúcuma del biotipo II con una significancia de 0,05; Los mismos resultados se aprecian en el diagrama de Pareto de la Figura 39 en el cual el factor temperatura resultó significativo el único significativo.

El modelo de superficie de respuesta encontrado para las respuestas de intensidad del olor en función de los parámetros de temperatura y espesor de la fruta, fue:

$$DIO = -3.295 + 0.0215833X_1 + 0.00085X_1^2 + 0.983333X_2 + 0.025X_2^2 - 0.01825X_1X_2$$

El coeficiente de regresión del modelo fue de 0,95 (significancia $p < 0.05$), este resultado significaría que el 95% del olor de la harina de lúcuma procedente del biotipo II está influenciada por el cambio de temperatura.

Cuadro 23. Análisis de varianza de las medidas de diferencia del color (ΔE) de lúcumo del biotipo II.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	Fcalculado	p-value
X1	1	0,0048	0,0048	0,00	0,9741
X2	1	0,7308	0,7308	0,19	0,6940
X1 ²	1	0,3595	0,3595	0,09	0,7810
X1X2	1	10,8504	10,8504	2,79	0,1936
X2 ²	1	0,0081	0,0081	0,00	0,9663
Error total	3	11,6747	3,8915		
Total	8	23,6285	8		

X1: Temperatura

X2: Espesor de la rodaja

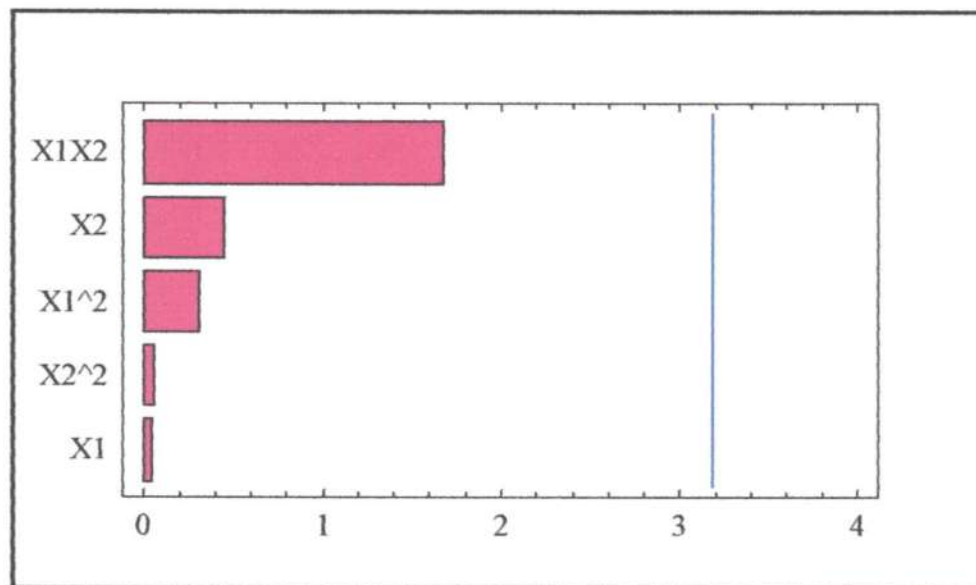


Figura 38. Diagrama de pareto del análisis de color de la harina de lúcumá biotipo II (palo)

Cuadro 24. Resultados de la evaluación de olor de la harina proveniente del biotipo II (palo).

Muestra	X1	X2	Variable respuesta (olor) cm
1	50	2	0,25
2	50	3	0,22
3	50	4	0,62
4	60	2	0,75
5	60	3	1,18
6	60	4	0,97
7	70	2	1,98
8	70	3	1,62
9	70	4	1,62

X1: Temperatura

X2: Espesor de la rodaja

Cuadro 25. Análisis de varianza de las medidas de olor del biotipo II (palo).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	Fcalculado	p-value
X1	1	2,8428	2,84282	63,25	0,0041
X2	1	0,0088	0,0088	0,20	0,6878
X1 ²	1	0,0144	0,0144	0,32	0,6104
X1X2	1	0,1332	0,1332	2,96	0,1836
X2 ²	1	0,0012	0,0012	0,03	0,8782
Error	3	0,1348	0,0449		
Total	8	3,1354			

X1: Temperatura

X2: Espesor de la rodaja

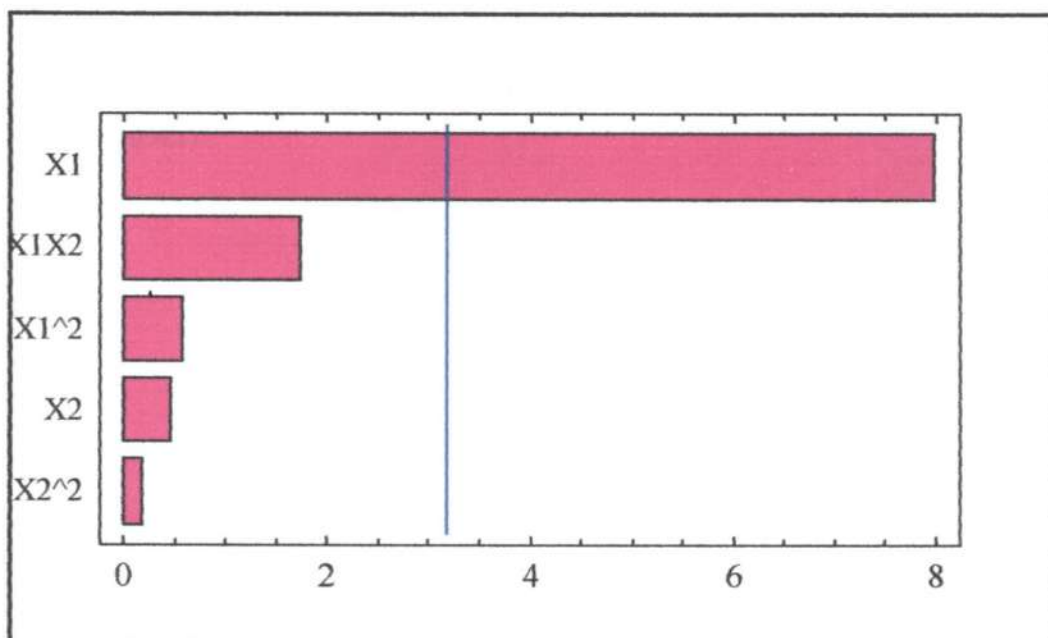


Figura 39. Diagrama de pareto del análisis de olor de la harina de lúcuma biotipo II (palo).

En el gráfico de superficie de respuesta mostrada en la Figura 40, se observa que los menores cambios en la intensidad del olor se dieron en las temperaturas más bajas. Asimismo en el mapa de contorno (Figura 41) elaborado empleando el programa STATGRAPHICS 6,0; se muestra el conjunto de parámetros (50°C y 2 mm) que minimizan las diferencias en la intensidad del olor. En este biotipo II (palo) de lúcuma los cambios de color no fueron significativos.

Basándose en los resultados obtenidos de color y olor de las harinas provenientes de los biotipos I y II en la optimización del proceso de deshidratado se determinó como parámetros óptimos la temperatura de 50°C y 2 mm de espesor para ambos biotipos (Figura 42).

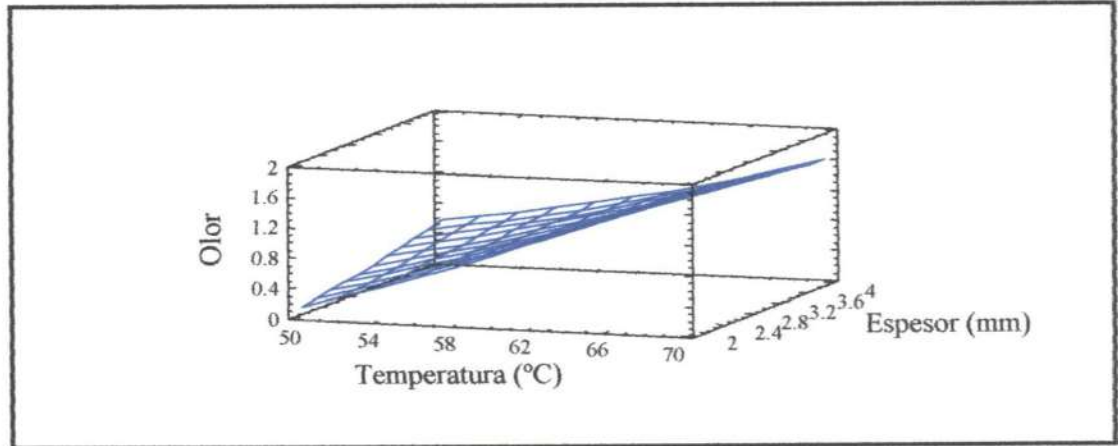


Figura 40. Representación de la superficie de respuesta del olor en función de la temperatura y el espesor de la lúcumia biotipo II.

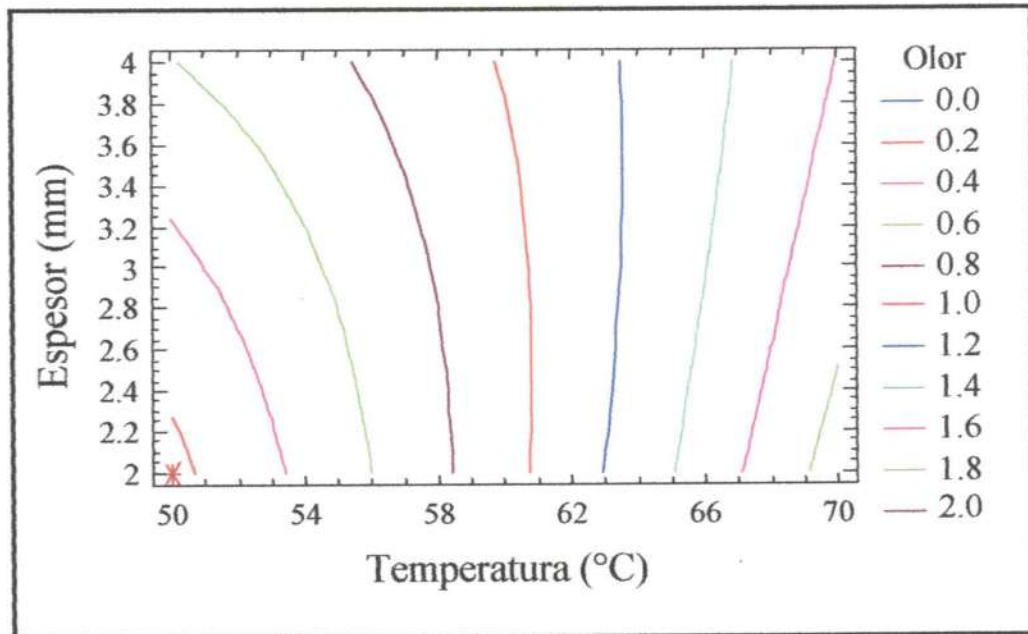


Figura 41. Mapa de contornos de superficie que representa la variación del olor con la temperatura y el espesor.

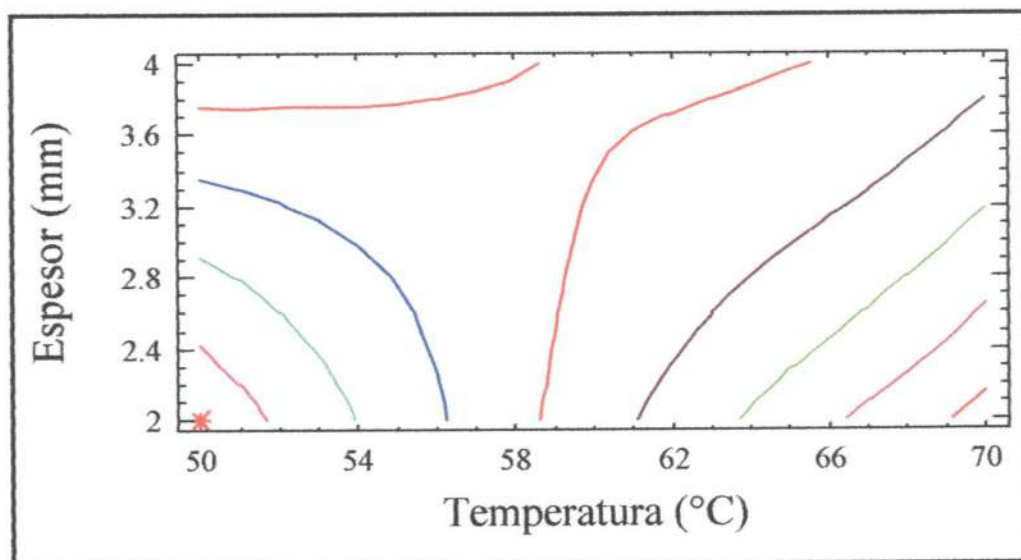


Figura 42. Optimización de las respuestas de color y olor de la harina de lúcuma procedente del biotipo II.

4.5 Caracterización del producto final

4.5.1 Análisis químico proximal

En el Cuadro 26 se presenta el análisis químico proximal y de vitamina C de las harinas procedentes de los biotipos I y II después del proceso de secado a 50°C y 2 mm de espesor de rodaja. Asimismo en las Figuras 43 se muestran las harinas obtenidas a partir de estos dos biotipos de lúcuma.

El contenido proximal de las harinas son similares a lo reportado por Collazos *et al.* (1996), para harinas de lúcuma.

El análisis proximal de las harinas de ambos biotipos difieren de la fruta fresca, esta diferencia no es significativa ($\alpha=0,05$), la evaluación estadística es mostrado en el Anexo 9. Así mismo se observa que el contenido de vitamina C disminuyó en la harina respecto a la fruta fresca. Esta disminución puede atribuirse a las operaciones realizadas antes y durante el proceso de secado; según Fennema (2000), el ácido ascórbico es soluble en agua y puede perderse por cortes o tratamientos, además en fruta la pérdida de vitamina C esta relacionada con el pardeamiento no enzimático.

4.5.2 Solubilidad de las harinas

La solubilidad registrada por la harina procedente del biotipo I (seda) fue de 56% y la harina procedente del biotipo II de 47% lo cual indicaría que la harina del biotipo I tendría mayor cantidad de sólidos solubles que la harina del biotipo II (palo), además la parte no soluble en parte estaría formada por almidones que no han sufrido transformación durante el proceso de secado, Brenner (1965) determinó un contenido de almidón en lúcuma fresca de 18,17%.

Cuadro 26. Análisis químico proximal y de vitamina C de las harinas procedentes de dos biotipos de lúcuma (en 100 g de parte comestible).

Componente	Biotipo I (seda) (g/100 g harina)		Biotipo II (palo) (g/100g harina)	
	Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base seca
Humedad	10,00 ± 0,50	11,11	9,06 ± 0,45	9,96
Proteína	5,53 ± 0,36	6,14	5,16 ± 0,25	5,67
Extracto etéreo	1,54 ± 0,52	1,71	1,08 ± 0,34	1,19
Fibra bruta	3,08 ± 0,24	3,42	2,28 ± 0,21	2,51
Ceniza	1,76 ± 0,10	1,96	1,84 ± 0,10	2,02
ELN	78,09 ± 2,6	86,77	80,58 ± 2,2	88,61
Vitamina C*	3,00 ± 0,35	3,37	**	

± Desviación estándar

* mg ac. ascórbico/100 g harina

** no se detectó



Biotipo I (seda)

Biotipo II (palo)

Figura 43. Harinas obtenidas a partir de los parámetros óptimos de 50°C y 2 mm de espesor para los biotipos I y II.

4.5.3 Granulometría de las harinas

En el Cuadro 27 se puede apreciar que a pesar de haber utilizado las mismas condiciones de molienda se obtuvo la harina del biotipo II con una mayor concentración del tamaño de partícula menores a 150 micras con 42,4% entre 150 y 75 micras y 36,9% menores a 75 micras. En el caso de la harina procedente del biotipo I se obtuvo una mayor concentración del tamaño de partícula entre 300 y 212 micras y 23,5 % menores a 212 micras, en esta harina se observó una mayor higroscopicidad provocando fácilmente su adherencia al tamiz y a aglomerarse formando grumos entre ellas y en consecuencia un menor paso de harina en los tamices. Según Peleg (1977); mencionado por Barboza *et al.* (1997) la aglomeración de los polvos puede variar desde la formación de grumos hasta la solidificación total del polvo debido a la higroscopicidad del polvo, la compactación puede ocurrir por vibración o aplicación de cargas sobre el polvo lo que afecta las propiedades del producto. La mayoría de los polvos se tornan cohesivos especialmente al ganar agua del medio ambiente. El fenómeno de cohesividad reduce la capacidad de flujo de los polvos y es responsable de la aglomeración de las partículas (Barboza *et al.* 1997).

4.5.4 Isotherma de adsorción de las harinas de lúcuma de los biotipos I y II

El modelo de GAB empleado para las isotermas de adsorción de ambos biotipos permitió conocer el valor de monocapa de las harinas de lúcuma, que es el contenido de agua que le imparte la máxima estabilidad a un alimento seco. Los valores experimentales para la determinación de la isoterma de adsorción se reportan en el Anexo 10.

Cuadro 27. Análisis granulométrico de dos biotipos de harina de lúcumá

N° de tamiz ASTM E-11	Abertura de la malla (µm)	% Retenido Biotipo I (seda)	% Retenido Biotipo II (palo)
40	425	0,0	0,0
50	300	16,3	3,6
70	212	60,2	7,3
100	150	23,5	9,8
200	75		42,4
	< 75		36,9

Cuadro 28. Valores de monocapa y constantes determinadas a partir de las isotermas de adsorción aplicando el modelo de GAB a 20°C.

Tipos de Harina	Biotipo I (seda)	Biotipo II (palo)
Valor Monocapa	10,01	7,93
C	3860,733	29,7911
K	0,837162	0,854392
Índice de correlación(R^2)	0,98	0,98
%RMS	8,00%	10%

Los valores de monocapa se reportan en el Cuadro 28, siendo para las harinas de los biotipos I y II de 10,01 g agua /100 g materia secas y 7,93 g agua/100 g materia seca respectivamente; asimismo en el mencionado Cuadro se muestran las constantes del modelo relacionados con el calor de sorción de la multicapa.

Los valores del % RMS para ambos biotipos se encuentran entre 8 y 10% para la harina de lúcuma del biotipo I (seda) y biotipo II (palo) respectivamente; considerados como un buen ajuste de las curvas de adsorción según Bizot, (1983); mencionado por Lievonen y Roos, (2002), quien considera que el %RMS hasta 10% es bueno.

Los valores de monocapa hallados están dentro de lo reportado por Bell y Labuza (2000), quienes mencionan que los valores de monocapa para la mayor parte de los alimentos se hallan en el intervalo de 3 a 10 g de agua por cada 100 g de materia seca.

La isoterma de adsorción corregida se presenta en la Figura 44, donde se observa que tiene una forma sigmoidea (tipo II) típica de los productos alimenticios deshidratados (Torres, 1991). Se observa que la harina procedente del biotipo II presenta un menor contenido de humedad de equilibrio con respecto a la lúcuma procedente del biotipo I a valores de actividad de agua similares.

En la Figura 44 se puede observar además tres regiones bien marcadas, la primera región para valores de actividad de agua comprendidas entre 0-0,25, la otra región entre valores de actividad de agua entre 0,25-0,6 a partir de actividades de agua de 0,6 se incrementa notablemente los valores de humedad de equilibrio.

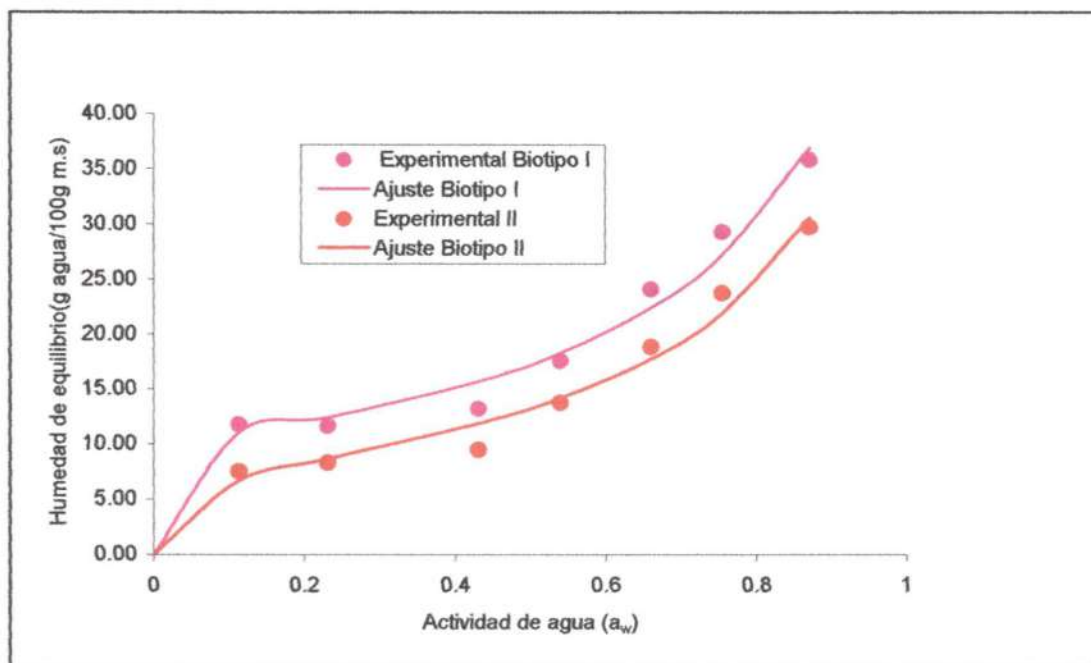


Figura 44. Isotherma de adsorción de las harinas de lúcuma de los biotipos I y II a 20°C experimentales y ajustada por el modelo de G.A.B.

4.6 Proporción más adecuada de mezcla

Los resultados de la evaluación sensorial (color, olor y sabor) realizado con 21 panelistas se muestran en el Cuadro 29. El análisis de varianza (Anexo 11.1) obtenidos a partir de estos resultados, mostró diferencias significativas ($\alpha=0,05$) entre las calificaciones de los tratamientos (o mezclas). Sin embargo el mismo análisis reflejó también una diferencia significativa ($\alpha=0,05$) entre los juicios de los 21 panelistas que participaron. Debido a que la lúcuma es una fruta que presenta diversos biotipos con variados colores desde el amarillo claro hasta el anaranjado fuerte (Cisneros,1959; mencionado por Gonzáles,1991), los panelistas no entrenados poseen aparentemente distintos conceptos en cuanto a las características sensoriales de esta fruta. Por lo que se decidió seleccionar 7 jueces cuyas calificaciones no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$). Las evaluaciones realizadas por los 7 panelista se muestran en el Cuadro 30 y el análisis de varianza en el Anexo 11.2.

En base a los resultados del Cuadro 32 la evaluación del color (Anexo 11.3) mostró que existe diferencia significativa, donde las mezclas que alcanzaron mayor puntaje fueron la denominada M11, contenía 100% de harina del biotipo I (seda) quedando en segundo lugar la conformada por 90% de harina del biotipo I y 10% del biotipo II (M10), sin que exista diferencia significativa entre ellas ($\alpha=0,05$).

Cuadro 29. Resultado de la evaluación sensorial realizada por los 21 panelistas a las mezclas de harinas de lúcuma de los biotipos I y II.

% de harina del biotipo I	% de harina del biotipo II	Mezclas	Promedio Color	Promedio Olor	Promedio Sabor
0	100	M1	4,5571	4,8095	5,0048
10	90	M2	4,6238	6,0857	5,3381
20	80	M3	6,6000	7,6143	8,1429
30	70	M4	6,5143	7,3762	6,2857
40	60	M5	6,0429	6,7952	6,0905
50	50	M6	7,1810	7,4048	6,6810
60	40	M7	5,0048	6,2571	5,6714
70	30	M8	6,5143	5,8571	7,2429
80	20	M9	4,8714	5,9667	6,9238
90	10	M10	7,4476	7,0286	7,3619
100	0	M11	8,2000	7,1857	5,0048

Cuadro 30. Resultado de la evaluación sensorial realizada por los 7 panelistas a las mezclas de harinas de lúcuma de los biotipos I y II.

Tratamiento	Promedio color	Promedio olor	Promedio sabor
M1	4,386	6,4286	5,0714
M2	6,200	7,0714	6,6571
M3	6,914	8,4857	8,600
M4	6,900	8,5143	7,9429
M5	6,900	6,5000	6,6429
M6	6,371	8,3857	7,6571
M7	6,371	7,5853	6,0286
M8	7,986	7,1143	7,8857
M9	4,900	6,4429	6,7143
M10	8,043	7,5429	8,4286
M11	8,700	7,2571	6,3429

En cuanto al olor la preferencia fue para las mezclas M4 y M3 (Anexo 11.3) con proporciones de biotipo I: biotipo II, de 30:70 y 20:80 respectivamente, entre las cuales no hay diferencias significativas.

Asimismo en caso de la evaluación del sabor (Anexo 11.3) las mezclas que obtuvieron mayor calificación fueron las denominadas M3 y M10, las que no presentaron diferencias significativas ($\alpha=0,05$) y que están conformados por las proporciones 20:80 y 90:10 de biotipo I: biotipo II.

Debido a las diferencias que se presentaron al escoger las mejores mezclas en cuanto a los atributos de color, olor y sabor se decidió dar puntajes del 1 al 11 en orden decreciente a todas las mezclas en cada cualidad sensorial. Esto se observa en el Cuadro 31, en donde en la última columna se presentan los puntajes obtenidos al sumar las tres calificaciones. A partir de los cuales se escogió la mezcla M3 con 20% de harina del biotipo I y 80% de harina del biotipo II y la M10 con 90% del biotipo I y 10% del biotipo II; por presentar ambas los mayores puntajes en conjunto.

Estos resultados hacen pensar que existe una tendencia a escoger el mejor sabor y olor a la vez que el mejor color, mientras que el biotipo II (palo) proporciona las características de aroma agradables al consumidor, el biotipo I (seda) proporciona el color. Por lo que la elección de la mezcla adecuada dependerá de las exigencias de mercado consumidor.

Posteriormente las mezclas M3 y M10 no presentaron diferencias significativas ($\alpha=0,05$) al ser elegidos en una prueba de comparación pareada por 30 panelistas. Por lo que será recomendable trabajar para la industria con una mezcla de 20% del biotipo I y 80% del biotipo II, que permitirá dar un mayor valor agregado a los dos biotipos, ya que muchas veces el biotipo II (palo) no es apreciado para su consumo en fresco. Esto también es importante desde el punto de vista de la higroscopicidad de la harina del biotipo I (seda) y las dificultades que presenta para el secado (mayores tiempos, mayor humedad de equilibrio).

Cuadro 31. Ranking de las evaluaciones sensoriales de color, olor y sabor

Tratamiento	color	olor	sabor	Total de calificación
M1	1	1	1	3
M2	3	4	5	8
M3	7	10	11	28
M4	6	11	9	26
M5	5	3	4	12
M6	8	9	7	24
M7	4	8	2	14
M8	9	5	8	22
M9	2	2	6	10
M10	10	7	10	27
M11	11	6	3	20

V. CONCLUSIONES

1. Se consideraron como indicadores de índice de madurez para la aplicación del proceso de secado el contenido de sólidos solubles y la textura de la fruta; los que fueron de 28,5°Brix y 7 kg-f para lúcuma del biotipo I (seda) a los 10 días a partir de la cosecha; y de 18,6 °Brix y 6,5kg-f para lúcuma del biotipo II (palo) a los 8 días.
2. La composición proximal de los frutos de lúcuma correspondientes a los biotipos I y II en 100 g de materia seca se encontraron en el rango de 8,68-7,78 g de proteína, 0,77 a 1,58 g de extracto etéreo, 2,89 a 3,86 g de fibra bruta, 2,52 a 2,53 g de ceniza y 83,35 a 86,04 g de ELN.
3. Las humedades de equilibrio calculado a 50, 60 y 70°C por el modelo de G.A.B. para la lúcuma del biotipo I (seda) fue de 5,027 a 9,708 g agua/100 materia seca y para la lúcuma del biotipo II (palo) fue de 4,182 a 6,00 g agua/100 materia seca.
4. Los valores de difusividad efectiva para la transferencia de masa durante el secado se encontraron en el rango de $6,685 \times 10^{-10}$ a $2,891 \times 10^{-9}$ m²/s para el biotipo I (seda) y de $8,505 \times 10^{-10}$ a $9,751 \times 10^{-9}$ m²/s para el biotipo II (palo).
5. Mediante la optimización de los parámetros de secado, por la metodología de superficie de respuesta, se determinó que las menores diferencias de color y olor con respecto al fruto fresco, se obtuvieron a 50°C y 2 mm el espesor de la rodaja de lúcuma, para ambos biotipos.
6. La composición proximal en 100 g de materia seca de la harina de lúcuma procedente del biotipo I (seda) fueron: 6,14 g proteínas, 1,71 g extracto etéreo, 3,42 g fibra bruta, 1,96 g ceniza, 86,77 g ELN y para la harina de

lúcuma procedente del biotipo II fueron: 5,67 g proteínas, 1,19 g extracto etéreo, 2,51 g fibra bruta, 2,02 g ceniza y 88,61 g ELN.

7. Se determinó a través del análisis sensorial que la mezcla de harinas preferida en olor, color y sabor fue de 80% del biotipo II (palo) y 20% del biotipo I (seda).

VI. RECOMENDACIONES

1. Estandarizar el color que debe de presentar la harina de lúcuma para su comercialización en medidas objetivas como la CIELAB.
2. Realizar estudios de vida en anaquel de la harina de lúcuma, evaluando la pérdida de color y el empaque adecuado.
3. Evaluar otro biotipos de lúcuma de importancia económica para su industrialización.
4. Aplicar modelos de difusión para predecir el tiempo de secado, considerando la difusividad variable.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- AHMED, J.; SHIVHARE, U. 2001. Thermal Kinetics of color change, reology, and storage characteristics of garlic puree/paste. *Journal of Food Science*. Vol 66, N°5.
- ANÓNIMO, 1998. El cultivo de lúcumo. Agro Enfoque. Boletín Técnico N° 2 CONAFRUT (Comisión Nacional de Fruticultura).
- AOAC (1995). Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemist. Editorial Board. USA.
- ARIAS, C.; TOLEDO, J. 2000. Manual de manejo post-cosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítrico). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO).
- BARBOSA-CANOVAS G.; VEGA, H; ORTEGA, E. 1997. Caracterización de alimentos en polvo. Temas en Tecnología de alimentos. CYTEC (Programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo). Vol 1. México.
- BARBOSA-CANOVAS G.; VEGA, H. 2000. Deshidratación de alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España.
- BARTOLOME, A.; RUPEREZ, P.; FUSTER, C. 1996. Freezing and frozen storage effects on color and sensory characteristics of pineapple fruit slices. *Journal of Food Science*. Vol. 6 N°, 1.
- BELL, L.; LABUZA TH. 2000. Moisture sorption. Practical aspects of isotherm measurement and use. Second edition. The United States of America.
- BRAGADÓTTIR, MARGRÉT. 1998. Redfish colour-processing improvements on board freezing trawlers. Icelandic Research Council.
- BRENER, M. 1965. Ensayo de Deshidratación de Lúcuma (lúcuma Obovata H.B.K.). Tesis-UNALM. Lima Perú.

- BRENNAN, J.; BUTTERS, J.; COWELL, N.; LILLEY, A. 1998. Las operaciones en la ingeniería de alimentos. Tercera edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza.España
- CALVO, C.; DURÁN; L.1997. Propiedades ópticas de los alimentos. Temas en Tecnología de alimentos. CYTEC (Programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo). Vol 1. México.
- CALZADA, J. 1980. 143 Frutales nativos. Ediciones Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- CASAS, J. 1996. Evaluación de los Parámetros de extrusión de una mezcla de harina de habas y maíz usando el método de superficie de respuesta. Tesis-UNALM. Lima-Perú.
- CASP, A.; ABRIL, J. 1999. Procesos de conservación de alimentos. Ediciones A. Madrid Vicente. España.
- CASTRO, C. 1999. Evaluación de algunos índices de madurez para cosecha en lúcuma (*Pouteria lucuma* (R yP) Kuntze) Cv. Lucuma B-2 en el valle de Chancay y Huaral. Tesis UNALM. Lima-Perú.
- CISNEROS, F. 1959. Contribución al estudio de la biología, propagación y la utilización de la lúcuma *Obovata* H.B.K. Tesis- UNALM. Lima-Perú.
- COLLAZOS, C.; WHITE, P.; VIÑAS, T.; QUIROZ, M.; ROCA, N.; HEGSTED, D.; BRADFIELD, R.; HERRERA, A.; FACHING, R.; RPBLES, G.; HERNANDEZ, F.; ARIAS, V. 1996. Tabla de composición de alimentos. Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud, Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Séptima edición. Lima- Perú.
- CONCHA, J. 2001. Obtención de polvo de papaya (*Carica pubescen*) por atomización. Tesis-UNALM. Lima-Perú.

- DAVAL, M.; ALEJANDRA, A.; ROMERO, A.; STURLA, M.; JUDIS, M. 2000. Antioxidantes naturales en emulsiones cárnicas cocidas. Comunicaciones Tecnológicas. UNNE. Argentina.
- FEBRES, I. 2002. Evaluación agronómica de biotipos de lúcuma en el Fundo Hoja Redonda, Chincha. Datos no publicados.
- FENNEMA, O. 1993. Química de los alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España.
- FENNEMA, O. 2000. Química de los alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España.
- FERNÁNDEZ, A.; DO AMARAL, P.; GONCALVES DE LIMA, C.; FERRUGEN, D. 2001. Determinación de características físico-químicas de la carne de cerdos en fase de crecimiento. Revista Tec Carnes. Campinas. SP. Vol.3 N°1.
- GAMARRA, H. 1999. Formulación de un plan estratégico para la exportación de harina de lúcuma a EEUU. ADEX.
- GANJYAL, G.; HANNA, M.; DEVADATTAM, D. 2003. Processing of sapota (sapotilla): drying. *Journal of Food Science*. Vol. 68, N°2.
- GEANKOPLIS, C. 1998. Proceso de transporte y operaciones unitarias. Continental S.A. México.
- GIOVANNI, M. 1993. Response Surface Methodology of Product Optimization. *Food Technology*, USA.37.
- GIUSTI, M.; WROLSTAND, R. 1996. Radish anthocyanin extracts as a natural red colorant for maraschino cherries. *Journal of Food Science*. Vol. 61 N° 4.
- GONZÁLES, M.; FERRERO, B. 2000. Optimización del batido de vainilla mediante la metodología de superficie de respuesta (MSR). Alimentación, Equipos y Tecnología. Julio-Agosto.

- GONZÁLES, Z. 1991. Determinación de propiedades termodinámicas de pulpa de Lúcumá (*Lúcuma Obovata* H.B.K.) relacionado con su congelación". Tesis-UNALM. Lima-Perú.
- GUERRERO L. Y NÚÑEZ, M. (1991), El proceso de secado en los alimentos. Alimentos, equipos y Tecnología. Dic. España.
- HUAMÁN, M. 2001. Predicción de la actividad de agua utilizando el modelo matemático de GAB en el proceso de deshidratación osmótica del capuli. (*physalis peruviana*). Tesis-UNALM. Lima-Perú
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2002. Compendio estadístico.
- INS (Instituto Nacional de Salud) 1996. Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. Séptima edición. Ministerio de Salud. Lima- Perú.
- IWAMOTO, A. 1995. Estudio de la influencia de enzimas en la obtención de jarabe de malta de cebada (*Hordeum-vulgare*). Tesis UNALM. Lima-Perú.
- KAYMARK-ERTEKIN. 2002. Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. *Journal Food Science*. Vol. 67.Nº1.
- KIRK, R.; SAWYER, R. Y EGAN, H. (2000). Composición y Análisis de Alimentos de Pearson. Compañía Editorial Continental, S.A. México.
- KROKIDA, M; KRATHANOS, V.; MAROULIS, Z.; MARINOS-KOURI, D. 2003. Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*. Vol 59.
- LIEVONEN, S.; ROOS, H. 2002. Water sorption of food models for studies of glass transition and reaction kinetics. *Journal of Food Science*. Vol. 67, Nº5.
- MENDOZA, F. (1993). Evaluación y optimización del tratamiento térmico en una crema a base de olluco (*Ollucus tuberosus* Loz) enlatada. Tesis UNALM. Lima-Perú.

- MINOLTA, 2003. *Konicaminolta Serial online*. Disponible en www.konicaminolta.com. Visitada el 15 de Noviembre del 2003.
- MINOLTA, 2000. Manual de colorímetro.
- PEDRERO, D.; PANGBORN, R. 1989. Evaluación sensorial de Alimentos. Métodos analíticos. Editorial Alambra Mexicana S.A. México.
- PERRY, R.; GREEN, D. 2001. Manual del ingeniero químico. Sétima edición. Editorial Mc Graw Hill. Volumen II.
- PONSIANO, M.; FERDIDAND, L. 2001. Optimization of the vacuum dehydration of the celery (*apium graveolens*) using the response surface methodology. *Drying Technology*. 19(3&4).
- PROLUCUMA, 2002. Asociación de Productores de Lúcuma. Lima Perú. *Serial online*. Disponible en: www.prolucuma.com. Visitado el 12 de Diciembre del 2002.
- SALAMANCA, G.; ALVAREZ, L.; SERRA, B. 2002. Naturaleza de algunas mieles tropicales de *Apis mellifera* en el departamento de Bocayá. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- SÁNCHEZ, J. 2002. Algunos aspectos relacionados al cultivo de lúcumo. INAGRO SUR S. A. FERTITEC S.A. Instituto Rural Valle Grande. Cañete. Perú.
- SPIESS, W.; WOLF, W. 1987. Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherm. Water activity. Theory and aplication to food. IFT. Federal Research. Centre for Nutrition Karlsruhe. Federal Republic of Germany.
- SURNARK, K.; MCWATTERS, K; PHILLIPS, R. 1998. Acceptance by american and asian consumers of extruded fish and peanut snack products. *Journal of Food Science*. Vol 63 N° 4.
- TORRES, S. 1991. Curso conceptos modernos de preservación de alimentos en el mercado norteamericano. UNALM. Lima- Perú.

- TRIGOSO, H. 1954. Análisis bromatológico y posibilidades de industrialización de la *lucuma obovata*. Tesis-UNMSM. Lima-Perú
- UNALM, 1972. Cultivo de lúcumo. Programa de Agronomía, Departamento de Fitotecnia. Programa de Frutales Nativos. Boletín N° 2.
- VALLE GRANDE, 2002. El cultivo del lúcumo. Copias del curso dictado por el Instituto Rural Valle Grande. Cañete. Lima-Perú.
- VIDAL, D; AÑO, V.; MAUPOEY, P.; TARRAZA, J. 1986. La actividad de agua en los alimentos. Alimentos, equipos y tecnología. Vol. 5:37.
- VILLANUEVA, M. 2001. La Lúcuma. Fondo Editorial Asociación Casa Grande. Lima- Perú.
- VILLARROEL, M. 1999. Aplicaciones de la metodología de la superficie de respuesta al desarrollo de productos. SENSIBER. Simposium Iberoamericano de Evaluación Sensorial, Bolivia.
- VILLARROEL, M.; UQUICHE, E.; BRITO, G.; CANCINO, M. 2000. Optimización de formulaciones para productos dietéticos de pastelería. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 50, N°1.
- VILLARROEL, M.; UQUICHE, E.; FRANCOIS, J. 1999. Caracterización sensorial de pate a base de descartes de pulpa de salmón utilizando la metodología superficie de respuesta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 49, N°3.
- WELTI, J.; VERGARA, B. 1997. Actividad de agua. Concepto y aplicación en alimentos con alto contenido de humedad. Universidad de las Américas Puebla. México.
- WILL, R.; GLASSON, MC.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. 1998. Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Segunda edición. Editorial Acribia S. A. Zaragoza. España.

ANEXOS

ANEXO 2

HOJA DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS MEZCLAS DE HARINAS DE LOS DOS BIOTIPOS.

CUESTIONARIO DE ANALISIS SENSORIAL

Nombre: Fecha: Prueba N°

Usted está recibiendo muestras codificadas de batido de lúcuma. Evalúe el color olor y sabor de las muestras marcando sobre la línea su nivel de agrado o desagrado.

COLOR

Código:	Me desagrada Mucho	Ni me agrada ni desagrada	Me agrada mucho
.....	●		●
.....	●		●
.....	●		●
.....	●		●

OLOR

.....	●		●
.....	●		●
.....	●		●
.....	●		●

SABOR

.....	●		●
.....	●		●
.....	●		●
.....	●		●

OBSERVACIONES.....
.....

Gracias

ANEXO 3

HOJA DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS MEZCLAS DE HARINAS DE LOS DOS BIOTIPOS.

CUESTIONARIO DE ANALISIS SENSORIAL

Nombre: Fecha:

Pruebe las dos muestras codificadas de batido de lúcumas y marque con una X en el casillero que corresponde al de su preferencia.

581	273

Comentarios:.....
.....
.....

Gracias

ANEXO 4

Cuadro 4.1 Variaciones de las principales características fisicoquímicas de lúcumas del biotipo I (seda) con el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente (23°C) y 85% de humedad relativa.

Días	pH	Acidez % *	Textura Kg-f	Sólidos solubles Brix	Azúcares Reductores **
0	3,80±0,10	0,27±0,02	13,8±0,40	12±1,0	3,41±1,5
2	5,16±0,20	0,16±0,03	12,7±0,50	19,2±1,0	19,59±1,0
4	5,30±0,10	0,20±0,01	11,2±0,35	20,4±0,7	19,70±1,1
6	5,32±0,08	0,22±0,02	10,1±0,40	21,6±0,8	19,70±1,0
8	5,98±0,12	0,22±0,01	9,5±0,30	26±0,5	25,06±0,8
10	6,20±0,20	0,14±0,02	7,0±0,50	28±0,5	24,80±0,7
12	5,78±0,14	0,18±0,02	4,4±0,45	32±0,6	27,96±0,8
14	5,52±0,14	0,11±0,01	3,2±0,30	36±0,6	29,30±0,7
16	5,04±0,10	0,09±0,02	2,8±0,30	38,5±0,5	34,70±0,7

± Desviación estándar

* % Acidez: g ac. cítrico/100 g pulpa

** Azúcares reductores: mg glucosa/100g pulpa

Cuadro 4.2. Variaciones de las principales características fisicoquímicas de lúcumas del biotipo II (palo) con el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente (23°C) y 85 % de humedad relativa.

Días	PH	Acidez % *	Textura Kg-f	Sólidos solubles Brix	Azúcares Reductores **
0	4,4 ± 0,25	0,22 ± 0,01	16,5 ± 0,20	14,4 ± 0,45	3,17 ± 0,7
2	6,49 ± 0,30	0,24 ± 0,02	16 ± 0,10	15 ± 0,40	3,96 ± 0,6
4	5,51 ± 0,35	0,18 ± 0,01	8,5 ± 0,25	18 ± 0,30	11,99 ± 0,6
6	5,62 ± 0,30	0,21 ± 0,01	7,6 ± 0,08	18 ± 0,40	17,2 ± 0,6
8	5,13 ± 0,30	0,22 ± 0,02	6,5 ± 0,20	18,6 ± 0,35	21,32 ± 0,75
10	6,01 ± 0,25	0,21 ± 0,02	5,6 ± 0,20	19,8 ± 0,45	28,15 ± 0,68
12	4,58 ± 0,28	0,08 ± 0,02	3,5 ± 0,10	29,4 ± 0,30	---
14	4,57 ± 0,20	0,085 ± 0,01	3,3 ± 0,10	31 ± 0,34	---
16	4,53 ± 0,21	0,05 ± 0,01	3,2 ± 0,20	36 ± 0,42	---

± Desviación estándar

* % Acidez: g ac.cítrico/100 g pulpa

** Azúcares reductores: mg glucosa/100g pulpa

— No se determinó

ANEXO 5

DATOS EXPERIMENTALES Y AJUSTADOS MEDIANTE EL MODELO DE GAB PARA LAS ISOTERMAS DE DESORCION

ANEXO 5.1 Datos de biotipo I (seda) de lúcumá

Cuadro 5.1.1. Datos de humedades de equilibrio de la lúcumá biotipo I a 50°C

Actividad de agua	Humedad de equilibrio (g agua/100 g m.s)	
	Experimental	Ajustados por GAB
0,111	8,5960	8,2944
0,200	9,6342	9,4473
0,305	11,6886	10,9171
0,500	14,6336	14,8995
0,610	17,3644	18,6297
0,740	27,9355	26,3583
0,830	38,4388	38,9043

Cuadro 5.1.2 Datos de humedades de equilibrio de la lúcumá biotipo I a 60°C

Actividad de agua	Humedad de equilibrio (g agua/100 g m.s)	
	Experimental	Ajustados por GAB
0,109	6,7070	6,3195
0,190	8,0310	7,9511
0,293	9,6405	9,7242
0,490	12,3355	13,9453
0,600	16,4923	17,6578
0,720	27,3243	24,4189
0,820	34,5456	35,3984

Cuadro 5.1.3 Datos de humedades de equilibrio de la lúcuma biotipo I a 70°C.

Actividad de agua	Humedad de equilibrio (g agua/100 g m.s)	
	Experimental	Ajustados por GAB
0,107	4,9572	4,6156
0,108	5,0555	5,2969
0,278	6,5269	6,2220
0,480	7,9268	9,0588
0,590	10,1909	11,8648
0,700	19,5109	17,0822
0,810	29,9314	30,2904

ANEXO 5.2 Datos biotipo II (palo) de lúcumo

Cuadro 5.2.1 Datos de humedades de equilibrio de la lúcumo biotipo II a 50°C

Actividad de agua	Humedad de equilibrio (g agua/100 g m.s)	
	Experimental	Ajustados por GAB
0,111	4,5111	4,3583
0,200	5,7325	5,7374
0,305	6,9681	7,1593
0,500	9,2189	10,5479
0,610	15,9078	13,6718
0,740	19,4117	20,4324
0,830	30,8112	30,5808

Cuadro 5.2.2 Datos de humedades de equilibrio de la lúcumo biotipo II a 60°C

Actividad de agua	Humedad de equilibrio (g agua/100 g m.s)	
	Experimental	Ajustados por GAB
0,109	4,2539	4,1452
0,190	4,9909	5,2621
0,293	6,6998	6,5004
0,490	8,8553	9,5555
0,600	13,8096	12,3735
0,720	16,9261	17,8495
0,820	27,9570	27,8262

Cuadro 5.2.3 Datos de humedades de equilibrio de la lúcumá biotipo II a 70°C.

Actividad de agua	Humedad de equilibrio (g agua/100 g m.s)	
	Experimental	Ajustados por GAB
0,107	3,5644	3,9263
0,180	4,6169	4,3655
0,278	5,9548	5,0480
0,480	6,7398	7,2975
0,590	9,2876	9,5917
0,700	14,1765	13,9636
0,810	25,5971	25,6070

ANEXO 6

ANEXO 6.1. Datos de secado para lúcumo del biotipo I (seda)

Biotipo	I (seda)	Humedad inicial	60%
Temperatura bulbo seco	50°C	Humedad de equilibrio	0.097083
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	2mm
Humedad Relativa	22%		
Materia seca	71.800		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Xs Peso(g) (g agua/g m.s)	Xsi (g agua/g m.s)	dx/dt	R k agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	179.5	1.50000	1.40292		0.22531	1.25272
0.08	5	152.8	1.12813	1.03105	4.46240	-0.08266	0.92066
0.17	10	140.3	0.95404	0.85696	2.08914	-0.26761	0.76521
0.25	15	129.8	0.80780	0.71072	1.75487	-0.45472	0.63462
0.33	20	121.3	0.68942	0.59233	1.42061	-0.63693	0.52891
0.42	25	113.6	0.58217	0.48509	1.28691	-0.83666	0.43315
0.50	30	108.3	0.50836	0.41127	0.88579	-1.00174	0.36724
0.58	35	103.9	0.44708	0.34999	0.73538	-1.16308	0.31252
0.67	40	100.6	0.40111	0.30403	0.55153	-1.30387	0.27148
0.75	45	97.8	0.36212	0.26503	0.46797	-1.44114	0.23666
0.83	50	95.5	0.33008	0.23300	0.38440	-1.56995	0.20805
0.92	55	93.3	0.29944	0.20236	0.36769	-1.71095	0.18069
1.00	60	91.4	0.27298	0.17590	0.31755	-1.85109	0.15707
1.08	65	89.6	0.24791	0.15083	0.30084	-2.00486	0.13468
1.17	70	88.5	0.23259	0.13551	0.18384	-2.11197	0.12100
1.25	75	87.7	0.22145	0.12437	0.13370	-2.19777	0.11105
1.33	80	86.7	0.20752	0.11044	0.16713	-2.31654	0.09861
1.50	90	85.5	0.19081	0.09372	0.10028	-2.48063	0.08369
1.67	100	84.9	0.18245	0.08537	0.05014	-2.57402	0.07623
1.83	110	84.3	0.17409	0.07701	0.05014	-2.67704	0.06877
2.00	120	83.4	0.16156	0.06448	0.07521	-2.85469	0.05757
2.50	150	81.7	0.13788	0.04080	0.04735	-3.31231	0.03643
3.00	180	81.2	0.13092	0.03384	0.01393	-3.49946	0.03021
3.50	210	80.5	0.12117	0.02409	0.01950	-3.83933	0.02151
4.50	270	79.7	0.11003	0.01294	0.01114	-4.46030	0.01156
5.50	330	79.2	0.10306	0.00598	0.00696	-5.23240	0.00534
6.50	390	78.9	0.09889	0.00180	0.00418	-6.43166	0.00161
7.50	450	78.8	0.09749	0.00041	0.00139	-7.91251	0.00037

Biotipo I (seda) Humedad inicial 60%
 Temperatura bulbo seco 60°C Humedad de equilibrio 0.08127
 Velocidad de Aire 2.8 m/s Espesor 2mm
 Humedad Relativa 20%
 Materia seca 78.160

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso(g)	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt	R k agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	195.4	1.50000	1.41873			0.23876	1.26967
0.08	5	161.0	1.05988	0.97861	5.28147	5.38173	-0.13263	0.87579
0.17	10	146.2	0.87052	0.78926	2.27226	2.31539	-0.34767	0.70633
0.25	15	133.5	0.70803	0.62677	1.94985	1.98686	-0.57819	0.56091
0.33	20	124.8	0.59672	0.51546	1.33572	1.36108	-0.77371	0.46130
0.42	25	117.5	0.50333	0.42206	1.12078	1.14205	-0.97362	0.37771
0.50	30	111.6	0.42784	0.34657	0.90583	0.92303	-1.17067	0.31016
0.58	35	106.7	0.36515	0.28388	0.75230	0.76658	-1.37021	0.25405
0.67	40	103.6	0.32549	0.24422	0.47595	0.48498	-1.52070	0.21856
0.75	45	101.2	0.29478	0.21351	0.36847	0.37547	-1.65507	0.19108
0.83	50	98.8	0.26407	0.18281	0.36847	0.37547	-1.81033	0.16360
0.92	55	96.7	0.23721	0.15594	0.32242	0.32854	-1.96930	0.13955
1.00	60	95.5	0.22185	0.14059	0.18424	0.18773	-2.07295	0.12581
1.08	65	94.4	0.20778	0.12651	0.16888	0.17209	-2.17843	0.11322
1.17	70	93.5	0.19626	0.11500	0.13818	0.14080	-2.27386	0.10291
1.33	80	92.0	0.17707	0.09581	0.11515	0.11733	-2.45644	0.08574
1.50	90	91.2	0.16684	0.08557	0.06141	0.06258	-2.56943	0.07658
2.00	120	89.1	0.13997	0.05870	0.05374	0.05476	-2.94629	0.05253
2.50	150	88.2	0.12845	0.04719	0.02303	0.02347	-3.16464	0.04223
3.50	210	87.0	0.11310	0.03183	0.01535	0.01564	-3.55822	0.02849
4.50	270	86.2	0.10287	0.02160	0.01024	0.01043	-3.94612	0.01933
5.50	330	85.1	0.08879	0.00753	0.01407	0.01434	-5.00050	0.00673
6.50	390	84.9	0.08623	0.00497	0.00256	0.00261	-5.41608	0.00444

Biotipo I (seda) Humedad inicial 60%
 Temperatura bulbo seco 70°C Humedad de equilibrio 0.05027
 Velocidad de Aire 2.8 m/s Espesor 2mm
 Humedad Relativa 15%

Materia seca 75.000

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso(g)	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt	R k agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	187.5	1.50000	1.44973			0.20463	1.22707
0.08	5	154.8	1.06400	1.01373	5.23200	5.11577	-0.15311	0.85803
0.17	10	135.8	0.81067	0.76039	3.04000	2.97247	-0.44066	0.64361
0.25	15	122.5	0.63333	0.58306	2.12800	2.08073	-0.70621	0.49351
0.33	20	107.3	0.43067	0.38039	2.43200	2.37797	-1.13330	0.32197
0.42	25	99.7	0.32933	0.27906	1.21600	1.18899	-1.44308	0.23620
0.50	30	95.9	0.27867	0.22839	0.60800	0.59449	-1.64343	0.19332
0.58	35	92.1	0.22800	0.17773	0.60800	0.59449	-1.89426	0.15043
0.67	40	88.3	0.17733	0.12706	0.60800	0.59449	-2.22985	0.10755
0.75	45	86.4	0.15200	0.10173	0.30400	0.29725	-2.45222	0.08610
0.83	50	85.4	0.13867	0.08839	0.16000	0.15645	-2.59271	0.07482
0.92	55	84.9	0.13200	0.08173	0.08000	0.07822	-2.67113	0.06917
1.00	60	83.4	0.11200	0.06173	0.24000	0.23467	-2.95179	0.05225
1.17	70	82.6	0.10133	0.05106	0.06400	0.06258	-3.14151	0.04322
1.33	80	81.9	0.09200	0.04173	0.05600	0.05476	-3.34338	0.03532
1.50	90	81.2	0.08267	0.03239	0.05600	0.05476	-3.59657	0.02742
2.00	120	80.6	0.07467	0.02439	0.01600	0.01564	-3.88022	0.02065
2.50	150	79.8	0.06400	0.01373	0.02133	0.02086	-4.45521	0.01162
3.50	210	79.4	0.05867	0.00839	0.00533	0.00521	-4.94714	0.00710
4.50	270	79.1	0.05467	0.00439	0.00400	0.00391	-5.59456	0.00372

Biotipo I (seda) Humedad inicial 60%
 Temperatura bulbo seco 50°C Humedad de equilibrio 0.097083
 Velocidad de Aire 2.8 m/s Espesor 3mm
 Humedad Relativa 22%

Materia seca 87.240

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso(g)	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt	R k agua/h m2	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	218.1	1.50000	1.40292			0.25575	1.29143
0.08	5	179.8	1.06098	0.96390	5.26823	5.99186	-0.11957	0.88730
0.17	10	160.9	0.84434	0.74725	2.59972	2.95682	-0.37415	0.68787
0.25	15	152.9	0.75264	0.65555	1.10041	1.25156	-0.50508	0.60346
0.33	20	145.1	0.66323	0.56614	1.07290	1.22028	-0.65171	0.52116
0.42	25	139.1	0.59445	0.49737	0.82531	0.93867	-0.78122	0.45785
0.50	30	134.3	0.53943	0.44235	0.66025	0.75094	-0.89846	0.40720
0.58	35	129.4	0.48326	0.38618	0.67400	0.76658	-1.03425	0.35549
0.67	40	125.2	0.43512	0.33804	0.57772	0.65707	-1.16740	0.31118
0.75	45	122.5	0.40417	0.30709	0.37139	0.42240	-1.26342	0.28269
0.83	50	119.8	0.37322	0.27614	0.37139	0.42240	-1.36965	0.25420
0.92	55	117.8	0.35030	0.25322	0.27510	0.31289	-1.45632	0.23309
1.00	60	115.9	0.32852	0.23144	0.26135	0.29725	-1.54625	0.21305
1.17	70	112.9	0.29413	0.19705	0.20633	0.23467	-1.70711	0.18139
1.33	80	110.7	0.26891	0.17183	0.15131	0.17209	-1.84405	0.15818
1.50	90	108.6	0.24484	0.14776	0.14443	0.16427	-1.99497	0.13602
2.00	120	104.9	0.20243	0.10535	0.08482	0.09647	-2.33329	0.09698
2.50	150	102.8	0.17836	0.08128	0.04814	0.05476	-2.59271	0.07482
3.50	210	100.3	0.14970	0.05262	0.02866	0.03259	-3.02748	0.04844
4.50	270	99.0	0.13480	0.03772	0.01490	0.01695	-3.36043	0.03472
5.50	330	98.1	0.12448	0.02740	0.01032	0.01173	-3.67997	0.02522
6.50	390	97.3	0.11531	0.01823	0.00917	0.01043	-4.08743	0.01678
7.50	450	96.5	0.10614	0.00906	0.00917	0.01043	-4.78658	0.00834
8.50	510	96.1	0.10156	0.00448	0.00459	0.00521	-5.49184	0.00412
9.50	570	95.8	0.09812	0.00104	0.00344	0.00391	-6.95410	0.00095

Biotipo I (seda) Humedad inicial 62%
 Temperatura bulbo seco 60°C Humedad de equilibrio 0.08127
 Velocidad de Aire 2.8 m/s Espesor 3mm
 Humedad Relativa 20%

Materia seca 121.2

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso(g)	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt	R k agua/h m2	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	319.0	1.63158	1.55031			0.18795	1.20678
0.08	5	274.3	1.26283	1.18156	4.42501	6.99312	-0.08367	0.91974
0.17	10	253.9	1.09454	1.01327	2.01947	3.19149	-0.23732	0.78874
0.25	15	238.1	0.96420	0.88293	1.56410	2.47184	-0.37501	0.68728
0.33	20	221.9	0.83056	0.74929	1.60370	2.53442	-0.53913	0.58325
0.42	25	211.7	0.74641	0.66514	1.00973	1.59574	-0.65825	0.51776
0.50	30	202.5	0.67052	0.58925	0.91074	1.43930	-0.77941	0.45868
0.58	35	194.6	0.60535	0.52408	0.78205	1.23592	-0.89661	0.40795
0.67	40	187.5	0.54677	0.46551	0.70285	1.11076	-1.01513	0.36236
0.75	45	180.8	0.49150	0.41024	0.66326	1.04819	-1.14152	0.31933
0.83	50	175.7	0.44943	0.36816	0.50487	0.79787	-1.24973	0.28658
0.92	55	170.9	0.40983	0.32857	0.47517	0.75094	-1.36352	0.25576
1.00	60	166.6	0.37436	0.29309	0.42567	0.67272	-1.47776	0.22815
1.17	70	159.7	0.31744	0.23617	0.34153	0.53974	-1.69369	0.18384
1.33	80	154.3	0.27289	0.19163	0.26728	0.42240	-1.90272	0.14916
1.50	90	149.9	0.23659	0.15533	0.21779	0.34418	-2.11272	0.12091
2.00	120	143.6	0.18462	0.10336	0.10394	0.16427	-2.52008	0.08045
2.50	150	141.4	0.16647	0.08521	0.03630	0.05736	-2.71317	0.06633
3.50	210	136.4	0.12523	0.04396	0.04125	0.06519	-3.37498	0.03422
4.50	270	134.5	0.10955	0.02829	0.01567	0.02477	-3.81589	0.02202
5.50	330	133.3	0.09965	0.01839	0.00990	0.01564	-4.24664	0.01431
6.50	390	132.6	0.09388	0.01261	0.00577	0.00913	-4.62362	0.00982
7.50	450	132.4	0.09223	0.01096	0.00165	0.00261	-4.76382	0.00853

Biotipo	I (seda)	Humedad inicial	60%
Temperatura bulbo seco	70°C	Humedad de equilibrio	0.05027
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	3mm
Humedad Relativa	12%		
Materia seca	114.1		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso(g)	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt	R k agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	285.2	1.50000	1.44973			0.14894	1.16060
0.08	5	250.9	1.19933	1.14906	3.60799	5.36608	-0.08349	0.91990
0.17	10	230.9	1.02402	0.97374	2.10379	3.12891	-0.24905	0.77954
0.25	15	212.7	0.86448	0.81421	1.91445	2.84731	-0.42798	0.65183
0.33	20	199.1	0.74527	0.69499	1.43058	2.12766	-0.58629	0.55639
0.42	25	187.3	0.64183	0.59156	1.24123	1.84606	-0.74744	0.47358
0.50	30	177.2	0.55330	0.50302	1.06241	1.58010	-0.90956	0.40270
0.58	35	168.6	0.47791	0.42764	0.90463	1.34543	-1.07192	0.34235
0.67	40	161.2	0.41304	0.36277	0.77840	1.15770	-1.23643	0.29042
0.75	45	155.0	0.35870	0.30842	0.65217	0.96996	-1.39873	0.24691
0.83	50	150.0	0.31487	0.26459	0.52595	0.78223	-1.55200	0.21182
0.92	55	145.5	0.27542	0.22515	0.47335	0.70401	-1.71344	0.18024
1.00	60	141.4	0.23948	0.18921	0.43128	0.64143	-1.88735	0.15147
1.17	70	136.5	0.19653	0.14625	0.25771	0.38329	-2.14484	0.11709
1.33	80	132.5	0.16147	0.11119	0.21038	0.31289	-2.41894	0.08902
1.50	90	129.6	0.13604	0.08577	0.15252	0.22685	-2.67851	0.06867
2.00	120	125.6	0.10098	0.05071	0.07013	0.10430	-3.20411	0.04059
2.50	150	123.6	0.08345	0.03318	0.03506	0.05215	-3.62836	0.02656
3.50	210	122.3	0.07205	0.02178	0.01140	0.01695	-4.04917	0.01744
4.50	270	121.5	0.06504	0.01477	0.00701	0.01043	-4.43773	0.01182
5.50	330	120.5	0.05628	0.00600	0.00877	0.01304	-5.33805	0.00481
6.50	390	120.3	0.05452	0.00425	0.00175	0.00261	-5.68348	0.00340

Biotipo	I (seda)	Humedad inicial	60%
Temperatura bulbo seco	50°C	Humedad de equilibrio	0.097083
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	4mm
Humedad Relativa	22%		
Materia seca	124.44		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso(g)	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt	R k agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	311.1	1.50000	1.40292			0.11832	1.12560
0.08	5	296.3	1.38107	1.28398	1.42719	2.31539	0.02973	1.03018
0.17	10	281.4	1.26133	1.16425	1.43684	2.33104	-0.06816	0.93411
0.25	15	268.4	1.15686	1.05978	1.25362	2.03379	-0.16217	0.85029
0.33	20	257.7	1.07088	0.97379	1.03182	1.67397	-0.24679	0.78131
0.42	25	246.9	0.98409	0.88701	1.04147	1.68961	-0.34014	0.71167
0.50	30	237.1	0.90534	0.80825	0.94503	1.53317	-0.43311	0.64849
0.58	35	227.1	0.82498	0.72789	0.96432	1.56446	-0.53783	0.58401
0.67	40	219.7	0.76551	0.66843	0.71360	1.15770	-0.62306	0.53630
0.75	45	212.9	0.71086	0.61378	0.65574	1.06383	-0.70835	0.49246
0.83	50	207.6	0.66827	0.57119	0.51109	0.82916	-0.78027	0.45828
0.92	55	203.1	0.63211	0.53503	0.43394	0.70401	-0.84567	0.42927
1.00	60	198.9	0.59836	0.50128	0.40501	0.65707	-0.91083	0.40219
1.17	70	192.0	0.54291	0.44583	0.33269	0.53974	-1.02805	0.35770
1.33	80	186.2	0.49630	0.39922	0.27965	0.45369	-1.13847	0.32031
1.50	90	180.7	0.45211	0.35502	0.26519	0.43023	-1.25581	0.28485
2.00	120	169.0	0.35808	0.26100	0.18804	0.30507	-1.56346	0.20941
2.50	150	160.8	0.29219	0.19511	0.13179	0.21381	-1.85445	0.15654
3.50	210	150.8	0.21183	0.11475	0.08036	0.13037	-2.38527	0.09206
4.50	270	146.1	0.17406	0.07698	0.03777	0.06127	-2.78448	0.06176
5.50	330	142.8	0.14754	0.05046	0.02652	0.04302	-3.20685	0.04048
6.50	390	141.5	0.13709	0.04001	0.01045	0.01695	-3.43883	0.03210
7.50	450	140.1	0.12584	0.02876	0.01125	0.01825	-3.76898	0.02308
8.50	510	139.1	0.11781	0.02072	0.00804	0.01304	-4.09666	0.01663
9.50	570	138.3	0.11138	0.01430	0.00643	0.01043	-4.46801	0.01147
10.50	630	137.3	0.10334	0.00626	0.00804	0.01304	-5.29381	0.00502
11.50	690	136.9	0.10013	0.00305	0.00321	0.00521	-6.01430	0.00244
12.50	750	136.6	0.09772	0.00063	0.00241	0.00391	-7.58247	0.00051

Biotipo	I (seda)	Humedad inicial	60%
Temperatura bulbo seco	60°C	Humedad de equilibrio	0.081267
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	4mm
Humedad Relativa	20%		
Materia seca	111.56		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso(g)	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt	R k agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	278.9	1.50000	1.41873			0.17920	1.19626
0.08	5	245.1	1.19702	1.11576	3.63571	5.28786	-0.06103	0.94079
0.17	10	229.4	1.05629	0.97503	1.68878	2.45620	-0.19586	0.82213
0.25	15	216.2	0.93797	0.85670	1.41986	2.06508	-0.32523	0.72236
0.33	20	206.8	0.85371	0.77244	1.01112	1.47059	-0.42876	0.65131
0.42	25	197.5	0.77035	0.68908	1.00036	1.45494	-0.54296	0.58102
0.50	30	189.8	0.70133	0.62006	0.82825	1.20463	-0.64851	0.52283
0.58	35	181.9	0.63051	0.54925	0.84977	1.23592	-0.76978	0.46312
0.67	40	176.3	0.58032	0.49905	0.60237	0.87610	-0.86562	0.42079
0.75	45	170.3	0.52653	0.44527	0.64539	0.93867	-0.97965	0.37544
0.83	50	165.5	0.48351	0.40224	0.51631	0.75094	-1.08128	0.33916
0.92	55	160.2	0.43600	0.35473	0.57010	0.82916	-1.20696	0.29910
1.00	60	156.4	0.40194	0.32067	0.40875	0.59449	-1.30791	0.27038
1.08	65	152.2	0.36429	0.28302	0.45177	0.65707	-1.43280	0.23864
1.17	70	149.1	0.33650	0.25523	0.33345	0.48498	-1.53614	0.21521
1.33	80	143.9	0.28989	0.20862	0.27967	0.40676	-1.73780	0.17591
1.50	90	139.9	0.25403	0.17277	0.21513	0.31289	-1.92638	0.14567
2.00	120	131.4	0.17784	0.09657	0.15238	0.22163	-2.50801	0.08143
2.50	150	128.4	0.15095	0.06968	0.05378	0.07822	-2.83436	0.05876
3.50	210	124.3	0.11420	0.03293	0.03675	0.05345	-3.58389	0.02777
4.50	270	123.3	0.10523	0.02397	0.00896	0.01304	-3.90161	0.02021
5.50	330	122.2	0.09537	0.01411	0.00986	0.01434	-4.43160	0.01190
6.50	390	121.7	0.09089	0.00963	0.00448	0.00652	-4.81388	0.00812
7.50	450	121.3	0.08731	0.00604	0.00359	0.00521	-5.27987	0.00509
8.50	510	120.9	0.08372	0.00245	0.00359	0.00521	-6.18029	0.00207

Biotipo	I (seda)	Humedad inicial	60%
Temperatura bulbo seco	70°C	Humedad de equilibrio	0.050274
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	4mm
Humedad Relativa	15%		
Materia seca	104.32		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso(g)	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt	R k agua/h m2	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	L(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	260.8	1.5	1.449726			0.185410369	1.203712305
0.08	5	220.1	1.109854294	1.059580294	4.681748	6.367334168	-0.128091323	0.879773032
0.17	10	200.7	0.923888037	0.873614037	2.231595	3.035043805	-0.32108081	0.725364632
0.25	15	184.7	0.770513804	0.720239804	1.840491	2.5031285	-0.514135265	0.598017498
0.33	20	170.6	0.635352761	0.585078761	1.621933	2.205882353	-0.721973011	0.485792835
0.42	25	161.7	0.550038344	0.499764344	1.023773	1.392365457	-0.879582808	0.414955992
0.50	30	154.6	0.481978528	0.431704528	0.816718	1.110763454	-1.025978092	0.358445701
0.58	35	149.3	0.431173313	0.380899313	0.609663	0.829161452	-1.151184413	0.316261963
0.67	40	141.5	0.356403374	0.306129374	0.897239	1.220275344	-1.369711678	0.254180235
0.75	45	136.1	0.304639571	0.254365571	0.621166	0.844806008	-1.554946996	0.211200577
0.83	50	132.7	0.272047546	0.221773546	0.391104	0.531914894	-1.692062684	0.184139311
0.92	55	129.4	0.24041411	0.19014011	0.379601	0.516270338	-1.845958259	0.157873964
1.00	60	126.4	0.211656442	0.161382442	0.345092	0.469336671	-2.00994252	0.133996377
1.17	70	122.6	0.175230061	0.124956061	0.218558	0.297246558	-2.265757316	0.103751432
1.33	80	120.3	0.153182515	0.102908515	0.132285	0.17991239	-2.45987909	0.085445282
1.42	85	119.1	0.141679448	0.091405448	0.138037	0.187734668	-2.578414401	0.075894246
1.50	90	117.5	0.126342025	0.076068025	0.184049	0.250312891	-2.762091483	0.063159533
2.00	120	113.3	0.086081288	0.035807288	0.080521	0.10951189	-3.515568025	0.02973091
2.50	150	112.5	0.078412577	0.028138577	0.015337	0.020859408	-3.756578012	0.023363554
3.50	210	111.5	0.068826687	0.018552687	0.009586	0.01303713	-4.173104846	0.015404358
4.50	270	110.6	0.060199387	0.009925387	0.008627	0.011733417	-4.798623714	0.008241081
5.50	330	110.2	0.056365031	0.006091031	0.003834	0.005214852	-5.286902175	0.005057403
6.50	390	109.9	0.053489264	0.003215264	0.002876	0.003911139	-5.925810074	0.002669644
7.50	450	109.7	0.051572086	0.001298086	0.001917	0.002607426	-6.832828696	0.001077805

ANEXO 6.2. Datos de secado para lúcumo del biotipo II (palo)

Biotipo	II (palo)	Humedad inicial	59%
Temperatura bulbo seco	50°C	Humedad de equilibrio	0.060089
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	2mm
Humedad Relativa	22%		
Materia seca	57.4		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso(g)	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt	R g agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	140.0	1.43902	1.37894			0.21942	1.24536
0.08	5	115.7	1.01585	0.95576	5.07805	3.80006	-0.14713	0.86318
0.17	10	109.4	0.90622	0.84613	1.31561	0.98451	-0.26897	0.76417
0.25	15	97.6	0.70110	0.64101	2.46146	1.84199	-0.54660	0.57891
0.33	20	88.8	0.54726	0.48717	1.84610	1.38149	-0.82104	0.43997
0.42	25	82.1	0.43055	0.37046	1.40049	1.04803	-1.09490	0.33457
0.50	30	75.8	0.32091	0.26083	1.31561	0.98451	-1.44579	0.23556
0.58	35	71.8	0.25018	0.19009	0.84878	0.63517	-1.76213	0.17168
0.67	40	70.9	0.23476	0.17467	0.18512	0.13853	-1.84676	0.15775
0.75	45	68.8	0.19817	0.13808	0.43902	0.32854	-2.08180	0.12471
0.83	50	67.2	0.17073	0.11064	0.32927	0.24640	-2.30334	0.09992
0.92	55	67.0	0.16711	0.10702	0.04348	0.03254	-2.33664	0.09665
1.00	60	65.9	0.14864	0.08855	0.22160	0.16583	-2.52605	0.07997
1.17	70	65.5	0.14125	0.08117	0.04432	0.03317	-2.61316	0.07330
1.33	80	64.7	0.12648	0.06639	0.08864	0.06633	-2.81407	0.05996
1.50	90	64.4	0.12220	0.06211	0.02571	0.01924	-2.88080	0.05609
2.00	120	63.6	0.10728	0.04719	0.02983	0.02232	-3.15539	0.04262
2.50	150	62.9	0.09610	0.03601	0.02237	0.01674	-3.42589	0.03252
3.50	210	62.6	0.09051	0.03042	0.00559	0.00418	-3.59467	0.02747
4.50	270	62.5	0.08864	0.02855	0.00186	0.00139	-3.65791	0.02579
5.50	330	62.4	0.08678	0.02669	0.00186	0.00139	-3.72543	0.02410

Biotipo	II (palo)	Humedad inicial	58%
Temperatura bulbo seco	60°C	Humedad de equilibrio	0.05384
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	2mm
Humedad Relativa	20%		
Materia seca	76.0		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso(g)	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt g agua/h m2	R	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	180.9	1.38095	1.32712			0.14816	1.15969
0.08	5	161.3	1.12313	1.06929	3.09390	3.06461	-0.06786	0.93439
0.17	10	146.2	0.92424	0.87041	2.38664	2.36405	-0.27365	0.76060
0.25	15	133.5	0.75709	0.70325	2.00584	1.98686	-0.48689	0.61453
0.33	20	122.6	0.61362	0.55979	1.72155	1.70526	-0.71505	0.48917
0.42	25	114.1	0.50175	0.44791	1.34249	1.32979	-0.93801	0.39141
0.50	30	107.4	.41357	0.35973	1.05820	1.04819	-1.15725	0.31435
0.58	35	101.5	0.33591	0.28208	0.93185	0.92303	-1.40043	0.24649
0.67	40	96.2	0.26616	0.21232	0.83708	0.82916	-1.68451	0.18553
0.75	45	91.6	0.20561	0.15178	0.72653	0.71965	-2.02020	0.13263
0.83	50	88.0	0.15823	0.10439	0.56859	0.56320	-2.39444	0.09122
0.92	55	85.8	0.12927	0.07544	0.34747	0.34418	-2.71929	0.06592
1.00	60	84.7	0.11480	0.06096	0.17373	0.17209	-2.93238	0.05327
1.17	70	83.2	0.09505	0.04122	0.11846	0.11733	-3.32374	0.03602
1.33	80	82.5	0.08584	0.03200	0.05528	0.05476	-3.57673	0.02797
1.50	90	82.1	0.08058	0.02674	0.03159	0.03129	-3.75645	0.02337
2.00	120	81.4	0.07136	0.01753	0.01843	0.01825	-4.17888	0.01532
2.50	150	80.9	0.06478	0.01095	0.01316	0.01304	-4.64964	0.00957
3.50	210	80.4	0.05820	0.00437	0.00658	0.00652	-5.56898	0.00381
4.50	270	80.2	0.05557	0.00173	0.00263	0.00261	-6.49292	0.00151

Biotipo	II (palo)	Humedad inicial	59%
Temperatura bulbo seco	70°C	Humedad de equilibrio	0.04182
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	2mm
Humedad Relativa	15%		
Materia seca	82.3		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso g	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt	R g agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	200.8	1.43902	1.39720			0.18516	1.20341
0.08	5	168.8	1.05034	1.00851	4.66427	5.00626	-0.14084	0.86863
0.17	10	160.9	0.95438	0.91256	1.15149	1.23592	-0.24082	0.78598
0.25	15	143.4	0.74181	0.69999	2.55077	2.73780	-0.50600	0.60290
0.33	20	128.9	0.56569	0.52387	2.11350	2.26846	-0.79583	0.45121
0.42	25	118.2	0.43572	0.39390	1.55962	1.67397	-1.08097	0.33926
0.50	30	108.1	0.31304	0.27122	1.47216	1.58010	-1.45414	0.23360
0.58	35	102.5	0.24502	0.20320	0.81625	0.87610	-1.74289	0.17501
0.67	40	96.7	0.17457	0.13275	0.84540	0.90738	-2.16862	0.11434
0.75	45	93.4	0.13449	0.09266	0.48100	0.51627	-2.52808	0.07981
0.83	50	91.4	0.11019	0.06837	0.29152	0.31289	-2.83211	0.05889
0.92	55	89.9	0.09197	0.05015	0.21864	0.23467	-3.14202	0.04320
1.00	60	89.2	0.08347	0.04165	0.10203	0.10951	-3.32779	0.03587
1.17	70	87.7	0.06525	0.02343	0.10932	0.11733	-3.90309	0.02018
1.33	80	87.1	0.05796	0.01614	0.04373	0.04693	-4.27569	0.01390
1.50	90	86.8	0.05432	0.01250	0.02186	0.02347	-4.53155	0.01076
2.00	120	86.5	0.05068	0.00885	0.00729	0.00782	-4.87627	0.00763
2.50	150	86.2	0.04703	0.00521	0.00729	0.00782	-5.40661	0.00449
3.50	210	86.1	0.04582	0.00399	0.00121	0.00130	-5.67209	0.00344

Biotipo	II (palo)	Humedad inicial	59%
Temperatura bulbo seco	50°C	Humedad de equilibrio	0.060089
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	3mm
Humedad Relativa	22%		
Materia seca	92.25		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso g	Xs g agua/g m.s	Xsl g agua/g m.s	dx/dt	R k agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	225.0	1.43902	1.37894			0.09686	1.10170
0.08	5	212.6	1.30461	1.24452	1.61301	1.93992	-0.00570	0.99431
0.17	10	198.6	1.15285	1.09276	1.82114	2.19024	-0.13575	0.87306
0.25	15	184.7	1.00217	0.94208	1.80813	2.17459	-0.28412	0.75268
0.33	20	171.5	0.85908	0.79899	1.71707	2.06508	-0.44886	0.63836
0.42	25	161.9	0.75501	0.69492	1.24878	1.50188	-0.58840	0.55521
0.50	30	154.0	0.66938	0.60929	1.02764	1.23592	-0.71992	0.48679
0.58	35	145.4	0.57615	0.51606	1.11870	1.34543	-0.88598	0.41231
0.67	40	138.7	0.50352	0.44343	0.87154	1.04819	-1.03766	0.35428
0.75	45	132.9	0.44065	0.38056	0.75447	0.90738	-1.19056	0.30405
0.83	50	127.1	0.37778	0.31769	0.75447	0.90738	-1.37114	0.25382
0.92	55	123.0	0.33333	0.27324	0.53333	0.64143	-1.52184	0.21831
1.00	60	119.5	0.29539	0.23530	0.45528	0.54756	-1.67133	0.18800
1.17	70	114.5	0.24119	0.18110	0.32520	0.39111	-1.93314	0.14469
1.33	80	111.2	0.20542	0.14533	0.21463	0.25814	-2.15319	0.11611
1.50	90	109.1	0.18266	0.12257	0.13659	0.16427	-2.32355	0.09793
2.00	120	107.4	0.16423	0.10414	0.03686	0.04433	-2.48649	0.08320
2.50	150	105.5	0.14363	0.08354	0.04119	0.04954	-2.70685	0.06675
3.50	210	103.3	0.11978	0.05969	0.02385	0.02868	-3.04297	0.04769
4.50	270	102.5	0.11111	0.05102	0.00867	0.01043	-3.19995	0.04076
5.50	330	101.0	0.09485	0.03476	0.01626	0.01956	-3.58368	0.02777
6.50	390	100.6	0.09051	0.03043	0.00434	0.00521	-3.71691	0.02431
7.50	450	100.4	0.08835	0.02826	0.00217	0.00261	-3.79084	0.02258

Biotipo II (palo) Humedad inicial 59%
 Temperatura bulbo seco 60°C
 Velocidad de Aire 2.8 m/s Humedad de equilibrio 0.05384
 Humedad Relativa 20% Espesor 3mm
 Materia seca 108.3

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso g	Xs g agua/g m.s	Xsl g agua/g m.s	dx/dt	R k agua/h m2	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	257.8	1.38095	1.32712			0.12181	1.12954
0.08	5	236.5	1.18423	1.13040	2.36063	3.33229	-0.03863	0.96210
0.17	10	216.6	1.00044	0.94661	2.20547	3.11327	-0.21607	0.80568
0.25	15	199.9	0.84621	0.79237	1.85083	2.61264	-0.39393	0.67440
0.33	20	186.9	0.72614	0.67231	1.44076	2.03179	-0.55824	0.57222
0.42	25	173.8	0.60516	0.55132	1.45185	2.04944	-0.75664	0.46924
0.50	30	164.1	0.51557	0.46174	1.07503	1.51752	-0.93396	0.39299
0.58	35	155.5	0.43614	0.38231	0.95312	1.34543	-1.12273	0.32539
0.67	40	146.8	0.35579	0.30196	0.96420	1.36108	-1.35867	0.25700
0.75	45	141.3	0.30500	0.25116	0.60955	0.86045	-1.54286	0.21377
0.83	50	136.5	0.26067	0.20683	0.53197	0.75094	-1.73705	0.17604
0.92	55	132.5	0.22372	0.16989	0.44331	0.62578	-1.93381	0.14460
1.00	60	128.4	0.18586	0.13202	0.45439	0.64143	-2.18598	0.11237
1.17	70	123.7	0.14245	0.08861	0.26045	0.36765	-2.58466	0.07542
1.33	80	121.1	0.11844	0.06460	0.14408	0.20338	-2.90071	0.05498
1.50	90	118.4	0.09350	0.03967	0.14962	0.21120	-3.38847	0.03376
2.00	120	117.0	0.08057	0.02674	0.02586	0.03650	-3.78295	0.02276
2.50	150	116.1	0.07226	0.01842	0.01662	0.02347	-4.15531	0.01568
3.50	210	115.2	0.06395	0.01011	0.00831	0.01173	-4.75526	0.00861
4.50	270	114.5	0.05748	0.00365	0.00646	0.00913	-5.77513	0.00310
5.50	330	114.2	0.05471	0.00088	0.00277	0.00391	-7.20131	0.00075

Biotipo	II (palo)	Humedad inicial	58%
Temperatura bulbo seco	70°C	Humedad de equilibrio	0.04182
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	3mm
Humedad Relativa	15%		
Materia seca	104.5		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso g	Xs g agua/g m.s	Xsl g agua/g m.s	dx/dt	R k agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	248.8	1.38095	1.33913			0.10518	1.11091
0.08	5	229.6	1.19721	1.15539	2.20487	3.00375	-0.04240	0.95848
0.17	10	208.8	0.99816	0.95634	2.38861	3.25407	-0.23148	0.79335
0.25	15	188.2	0.80103	0.75920	2.36564	3.22278	-0.46233	0.62982
0.33	20	169.7	0.62399	0.58216	2.12448	2.89424	-0.72785	0.48295
0.42	25	156.3	0.49575	0.45393	1.53881	2.09637	-0.97666	0.37657
0.50	30	146.2	0.39910	0.35727	1.15985	1.58010	-1.21609	0.2965
0.58	35	137.6	0.31680	0.27497	0.98760	1.34543	-1.47792	0.22811
0.67	40	131.6	0.25938	0.21756	0.68902	0.93867	-1.71214	0.18048
0.75	45	126.8	0.21344	0.17162	0.55122	0.75094	-1.94931	0.14237
0.83	50	123.2	0.17899	0.13717	0.41341	0.56320	-2.17337	0.11379
0.92	55	120.5	0.15315	0.11133	0.31006	0.42240	-2.38208	0.09236
1.00	60	118.4	0.13306	0.09124	0.24116	0.32854	-2.58115	0.07569
1.17	70	115.6	0.10626	0.06444	0.16077	0.21902	-2.92886	0.05346
1.33	80	113.6	0.08712	0.04530	0.11484	0.15645	-3.28127	0.03758
1.50	90	112.2	0.07373	0.03190	0.08039	0.10951	-3.63189	0.02647
2.00	120	111.1	0.06320	0.02138	0.02105	0.02868	-4.03230	0.01773
2.50	150	110.1	0.05363	0.01181	0.01914	0.02607	-4.62592	0.00979
3.50	210	109.7	0.04980	0.00798	0.00383	0.00521	-5.01779	0.00662
4.50	270	109.5	0.04789	0.00607	0.00191	0.00261	-5.29206	0.00503

Biotipo	II (palo)	Humedad inicial	58%
Temperatura bulbo seco	50°C		
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	4mm
Humedad Relativa	22%	Humedad de equilibrio	0.060089
Materia seca	141.163		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso g	Xst g agua/g m.s	dx/dt	R k agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	344.3	1.37894			0.08316	1.08671
0.08	5	330.2	1.27905	1.19861	2.20588	0.00796	1.00800
0.17	10	318.2	1.19404	1.02010	1.87735	-0.06081	0.94100
0.25	15	304.1	1.09416	1.19861	2.20588	-0.14817	0.86229
0.33	20	289.7	0.99215	1.22412	2.25282	-0.24604	0.78189
0.42	25	279.2	0.91777	0.89259	1.64268	-0.32397	0.72327
0.50	30	269.4	0.84834	0.83308	1.53317	-0.40262	0.66856
0.58	35	259.2	0.77609	0.86708	1.59574	-0.49165	0.61162
0.67	40	250.9	0.71729	0.70557	1.29850	-0.57043	0.56528
0.75	45	243.5	0.66487	0.62906	1.15770	-0.64632	0.52397
0.83	50	236.9	0.61811	0.56105	1.03254	-0.71924	0.48712
0.92	55	231.4	0.57915	0.46754	0.86045	-0.78435	0.45642
1.00	60	224.5	0.53027	0.58656	1.07947	-0.87252	0.41790
1.17	70	218.4	0.48706	0.25927	0.47716	-0.95752	0.38384
1.33	80	214.6	0.46014	0.16152	0.29725	-1.01438	0.36263
1.50	90	207.9	0.41268	0.28478	0.52409	-1.12324	0.32522
2.00	120	193.3	0.30925	0.20685	0.38068	-1.41176	0.24371
2.50	150	166.5	0.11940	0.37970	0.69879	-2.36344	0.09410
3.50	210	163.9	0.10098	0.01842	0.03390	-2.53099	0.07958
4.50	270	160.4	0.07619	0.02479	0.04563	-2.81273	0.06004
5.50	330	158.6	0.06343	0.01275	0.02347	-2.99590	0.04999
6.50	390	157.5	0.05564	0.00779	0.01434	-3.12696	0.04385
7.50	450	157.1	0.05281	0.00283	0.00521	-3.17923	0.04162
8.50	510	156.2	0.04643	0.00638	0.01173	-3.30789	0.03659
9.50	570	154.6	0.03510	0.01133	0.02086	-3.58774	0.02766
10.50	630	154.2	0.03227	0.00283	0.00521	-3.67192	0.02543

Biotipo	II (palo)	Humedad inicial	58%
Temperatura bulbo seco	60°C	Humedad de equilibrio	0.05384
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	4mm
Humedad Relativa	20%		
Materia seca	141.0		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso(g)	Xs (g agua/g m.s)	Xsl (g agua/g m.s)	dx/dt	R k agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	335.8	1.38095	1.32712			0.11446	1.12127
0.08	5	310.5	1.20157	1.14773	2.15264	3.95807	-0.03076	0.96970
0.17	10	288.3	1.04416	0.99032	1.88888	3.47309	-0.17827	0.83671
0.25	15	269.4	0.91015	0.85631	1.60810	2.95682	-0.32367	0.72349
0.33	20	254.1	0.80167	0.74783	1.30180	2.39362	-0.45913	0.63183
0.42	25	241.3	0.71091	0.65707	1.08908	2.00250	-0.58851	0.55516
0.50	30	230.8	0.63646	0.58263	0.9339	1.64268	-0.70876	0.49225
0.58	35	219.9	0.55918	0.50534	0.92742	1.70526	-0.85107	0.42696
0.67	40	211.7	0.50104	0.44720	0.69769	1.28285	-0.97330	0.37783
0.75	45	203.3	0.44148	0.38764	0.71471	1.31414	-1.11623	0.32751
0.83	50	196.0	0.38972	0.33588	0.62112	1.14205	-1.25955	0.28378
0.92	55	190.1	0.34788	0.29405	0.50200	0.92303	-1.39257	0.24844
1.00	60	184.7	0.30959	0.25576	0.45946	0.84481	-1.53207	0.21609
1.17	70	175.9	0.24720	0.19336	0.37437	0.68836	-1.81173	0.16337
1.33	80	168.6	0.19544	0.14160	0.31056	0.57103	-2.12327	0.11964
1.50	90	163.6	0.15999	0.10615	0.21271	0.39111	-2.41144	0.08969
2.00	120	156.1	0.10681	0.05297	0.10636	0.19556	-3.10651	0.04476
2.50	150	155.2	0.10043	0.04659	0.01276	0.02347	-3.23487	0.03937
3.50	210	152.6	0.08199	0.02816	0.01844	0.03390	-3.73850	0.02379
4.50	270	151.5	0.07419	0.02036	0.00780	0.01434	-4.06284	0.01720
5.50	330	150.8	0.06923	0.01539	0.00496	0.00913	-4.34229	0.01301
6.50	390	150.3	0.06569	0.01185	0.00355	0.00652	-4.60403	0.01001
7.50	450	150.2	0.06498	0.01114	0.00071	0.00130	-4.66573	0.00941

Biotipo	II (palo)	Humedad inicial	58%
Temperatura bulbo seco	70°C	Humedad de equilibrio	0.04182
Velocidad de Aire	2.8 m/s	Espesor	4mm
Humedad Relativa	15%		
Materia seca	132.3		

Tiempo hora	Tiempo minuto	Peso g	Xs g agua/g m.s	Xsl g agua/g m.s	dx/dt	R k agua/h m ²	Ln(Xs-Xe/Xc-Xe)	(Xs-Xe/Xc-Xe)
0.00	0	315.1	1.38095	1.33913			0.10984	1.11610
0.08	5	289.3	1.18600	1.14418	2.33939	4.03630	-0.04749	0.95362
0.17	10	264.8	1.00088	0.95905	2.22152	3.83292	-0.22399	0.79932
0.25	15	245.2	0.85278	0.81095	1.77721	3.06633	-0.39173	0.67589
0.33	20	227.8	0.72130	0.67948	1.57773	2.72215	-0.56862	0.56631
0.42	25	214.0	0.61702	0.57520	1.25130	2.15895	-0.73522	0.47940
0.50	30	202.9	0.53315	0.49133	1.00648	1.73655	-0.89283	0.40950
0.58	35	193.5	0.46212	0.42030	0.85234	1.47059	-1.04897	0.35030
0.67	40	180.8	0.36616	0.32434	1.15156	1.98686	-1.30816	0.27032
0.75	45	178.9	0.35180	0.30998	0.17228	0.29725	-1.35343	0.25835
0.83	50	173.4	0.31024	0.26842	0.49871	0.86045	-1.49739	0.22371
0.92	55	168.0	0.26944	0.22762	0.48964	0.84481	-1.66228	0.18971
1.00	60	163.8	0.23770	0.19588	0.38083	0.65707	-1.81243	0.16326
1.17	70	157.3	0.18859	0.14677	0.29469	0.50845	-2.10110	0.12232
1.33	80	152.6	0.15307	0.11125	0.21308	0.36765	-2.37815	0.09272
1.50	90	149.6	0.13040	0.08858	0.13601	0.23467	-2.60600	0.07383
2.00	120	145.3	0.09791	0.05609	0.06498	0.11212	-3.06296	0.04675
2.50	150	143.0	0.08053	0.03871	0.03476	0.05997	-3.43379	0.03226
3.50	210	142.5	0.07676	0.03493	0.00378	0.00652	-3.53649	0.02912
4.50	270	140.5	0.06164	0.01982	0.01511	0.02607	-4.10318	0.01652
5.50	330	139.1	0.05106	0.00924	0.01058	0.01825	-4.86611	0.00770
6.50	390	138.8	0.04880	0.00698	0.00227	0.00391	-5.14749	0.00581

ANEXO 7

ANEXO 7.1 Curvas de secado de lúcuma biotipo I (seda).

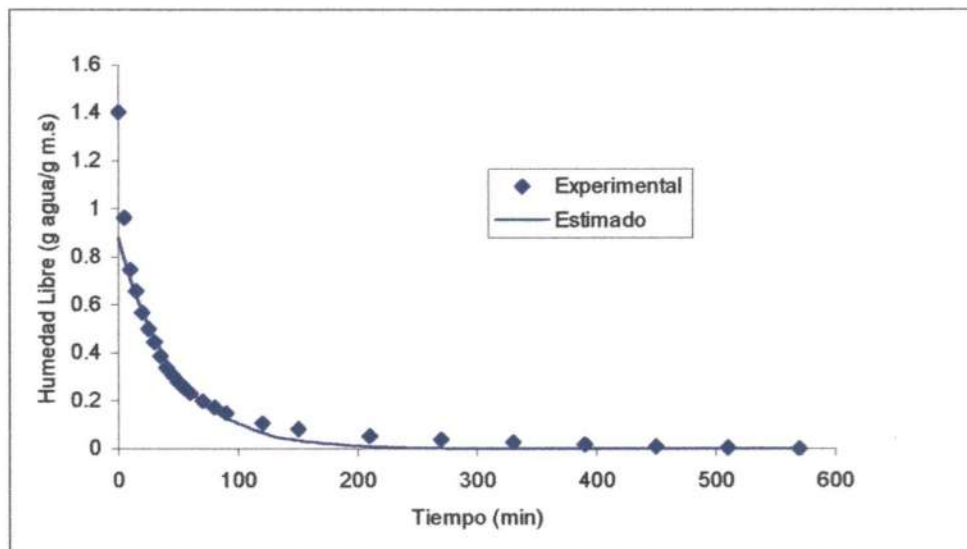


Figura 7.1.1 . Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo I de espesor 3mm y temperatura de secado 50°C.

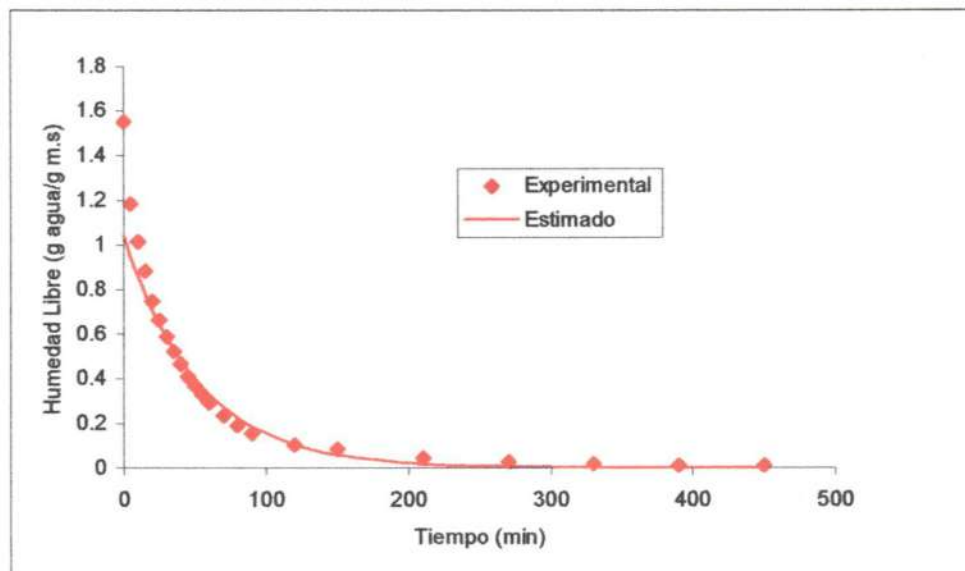


Figura 7.1.2. Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo I de espesor 3mm y temperatura de secado 60°C.

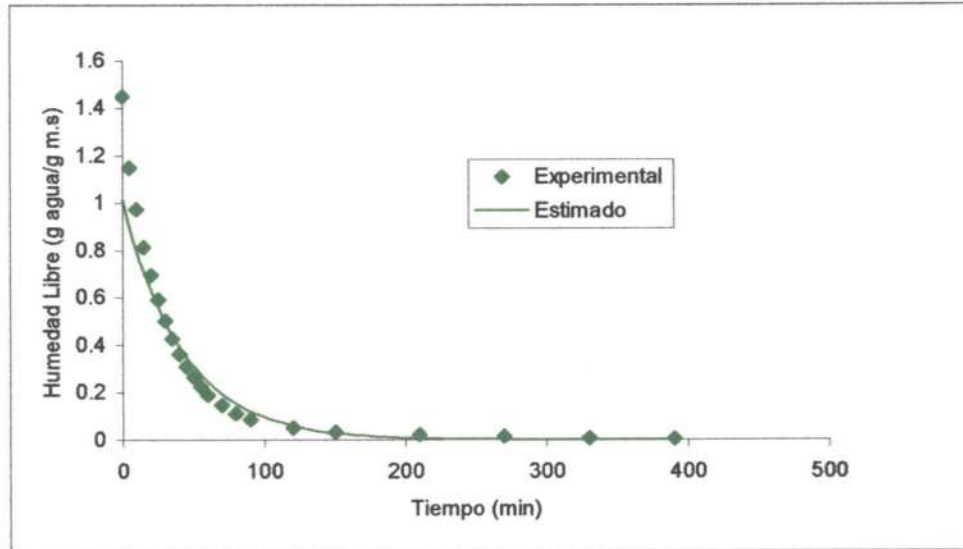


Figura 7.1.3. Curva de secado experimental y estimado de lúcumas biotipo I de espesor 3mm y temperatura de secado 70°C.

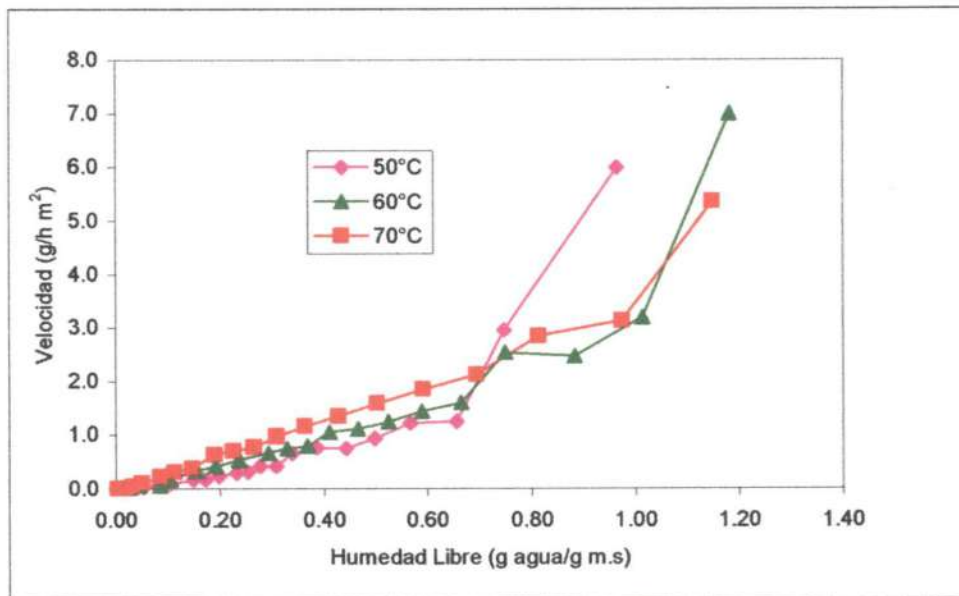


Figura 7.1.4. Velocidad de secado en función a la humedad libre de la lúcumas biotipo I de 3mm de espesor y temperaturas de 50, 60 y 70°C.

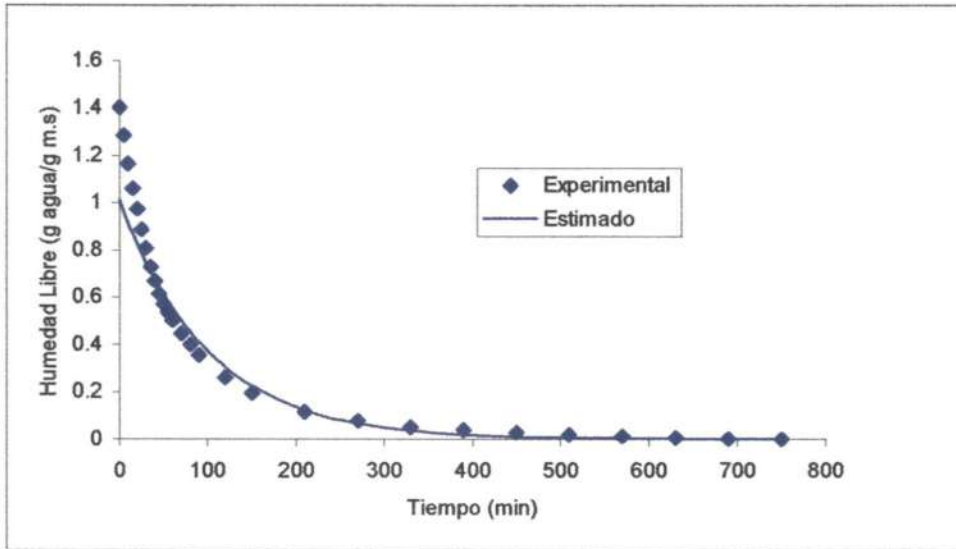


Figura 7.1.5. Curva de secado experimental y estimado de lúcumia biotipo I de espesor 4mm y temperatura de secado 50°C.

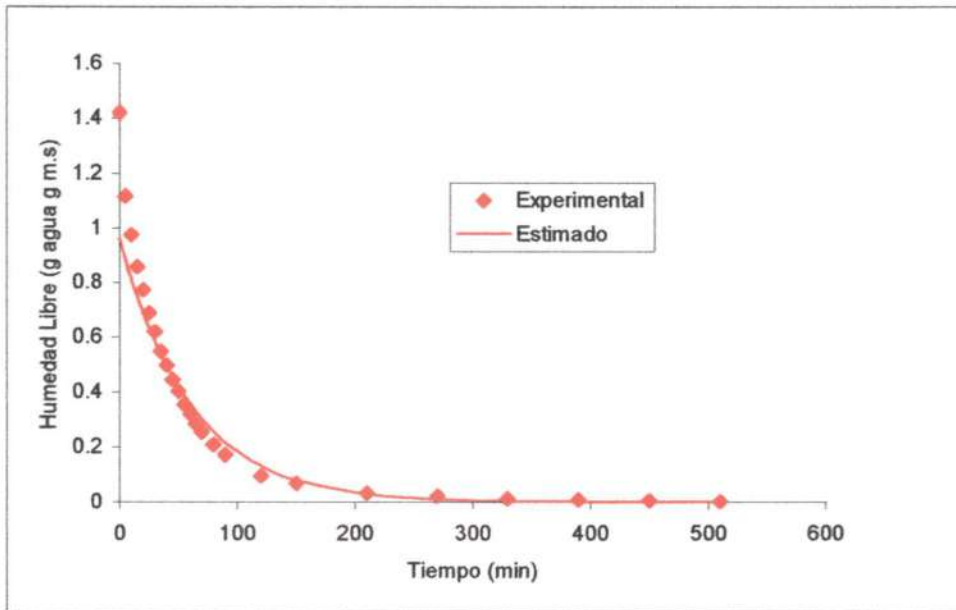


Figura 7.1.6. Curva de secado experimental y estimado de lúcumia biotipo I de espesor 4mm y temperatura de secado 60°C.

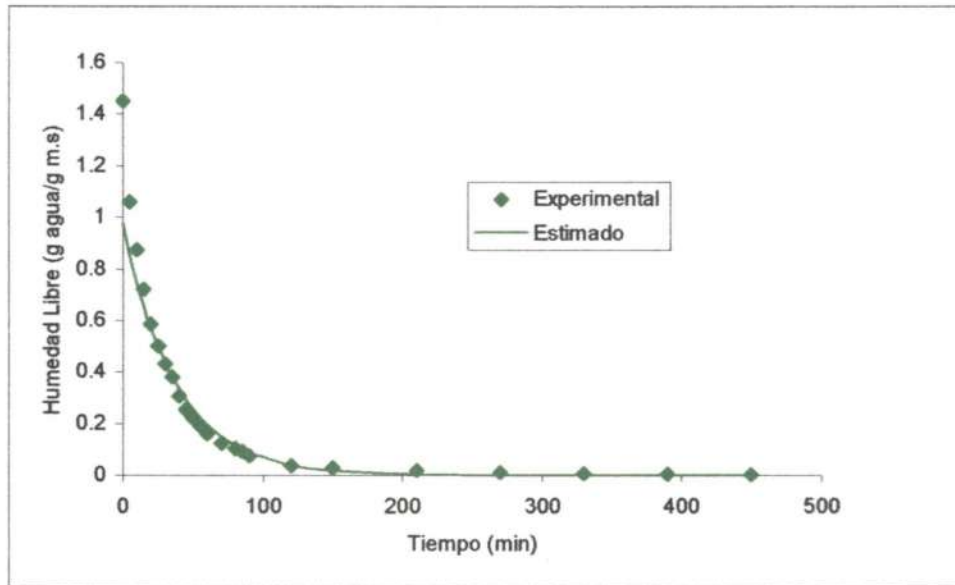


Figura 7.1.7. Curva de secado experimental y estimado de lúcumas biotipo I de espesor 4mm y temperatura de secado 70°C.

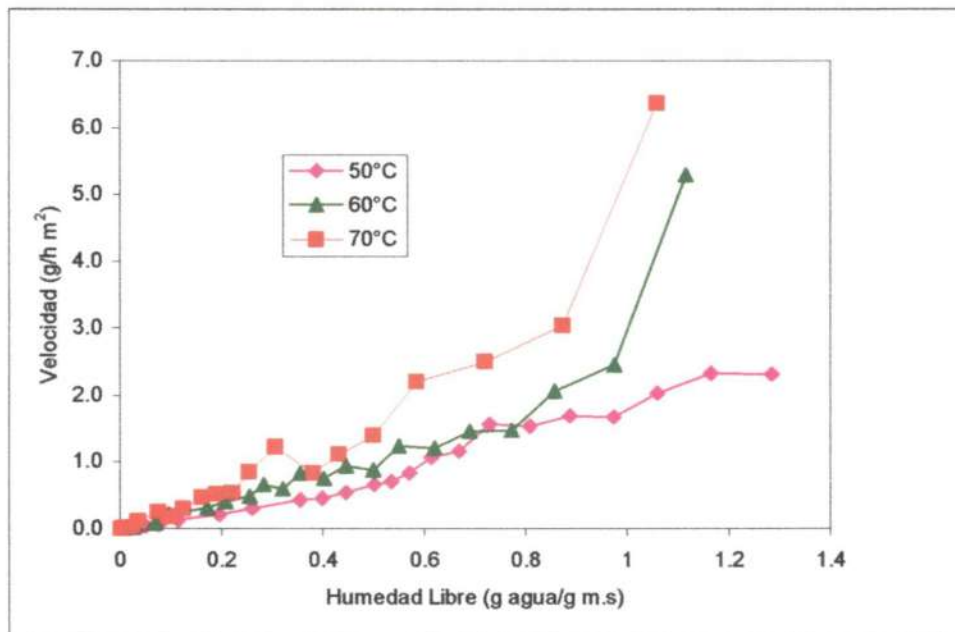


Figura 7.1.8. Velocidad de secado en función a la humedad libre de la lúcumas biotipo I de 4mm de espesor y temperaturas de 50, 60 y 70°C.

ANEXO 7.2 Curvas de secado de lúcuma biotipo II (palo).

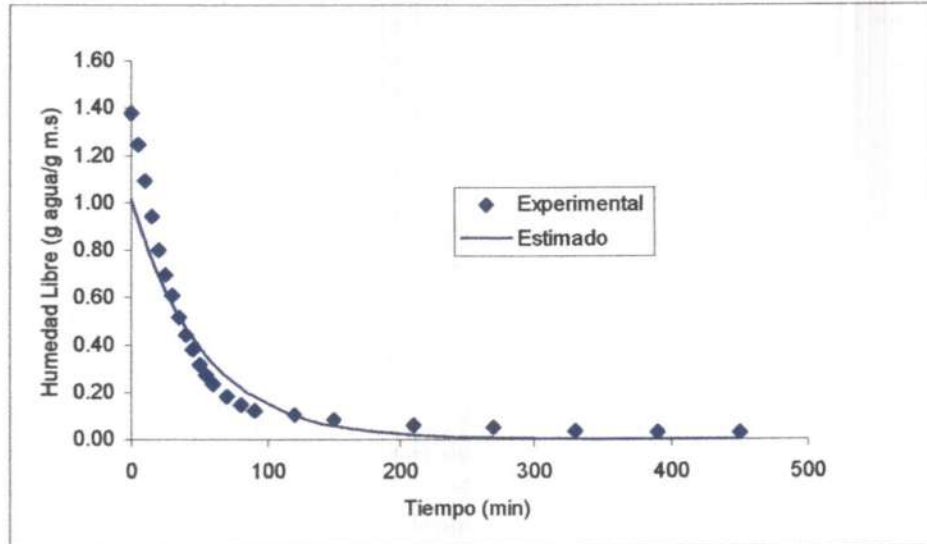


Figura 7.2.1. Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo II de espesor 3mm y temperatura de secado 50°C.

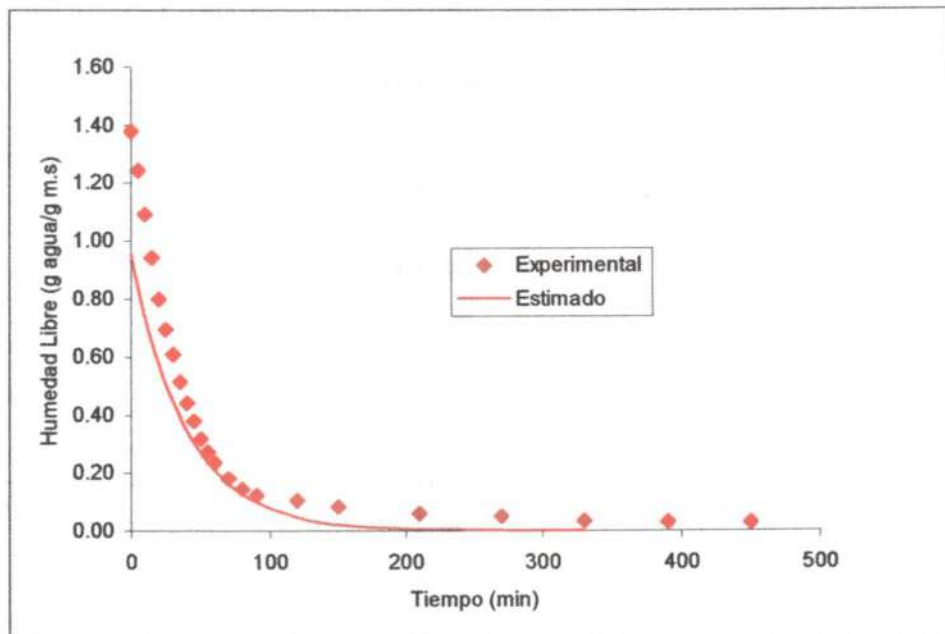


Figura 7.2.2. Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo II de espesor 3mm y temperatura de secado 60°C.

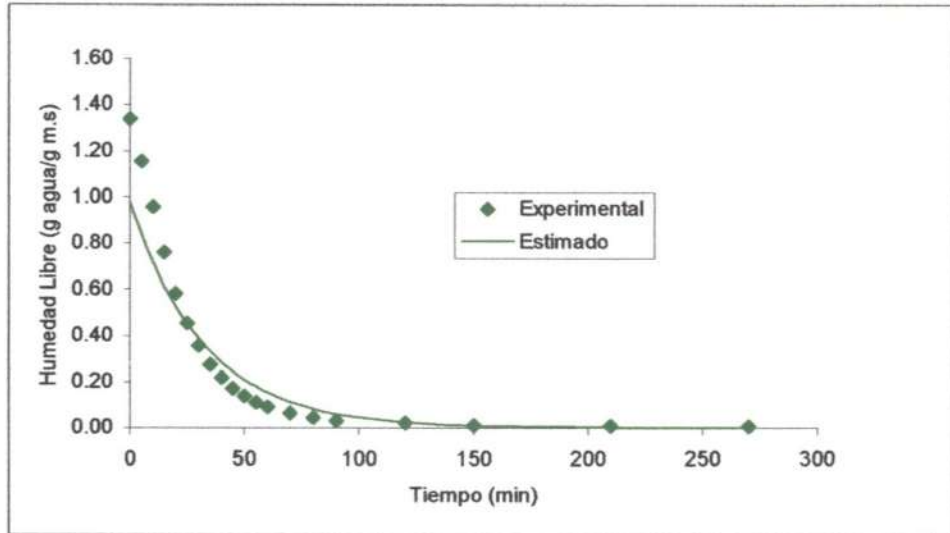


Figura 7.2.3. Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo II de espesor 3mm y temperatura de secado 70°C.

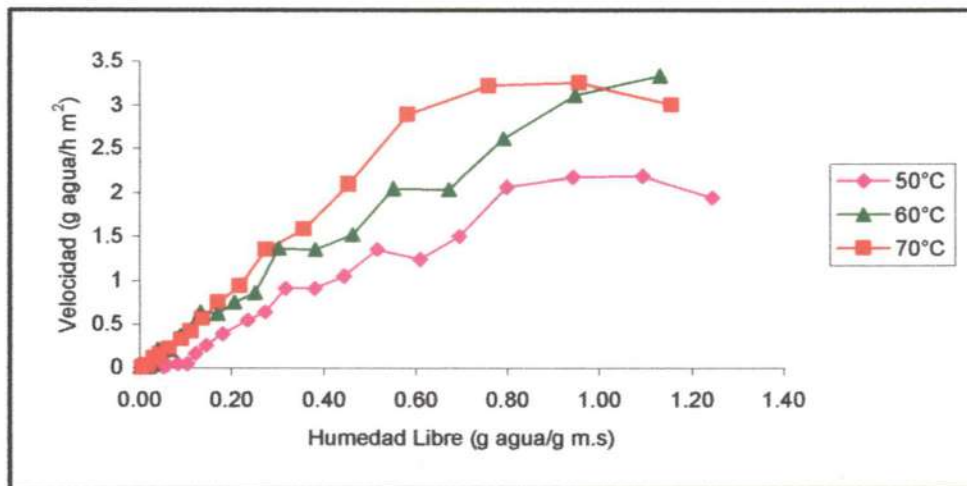


Figura 7.2.4. Velocidad de secado en función a la humedad libre de la lúcuma biotipo II de 3mm de espesor y temperaturas de 50, 60 y 70°C.

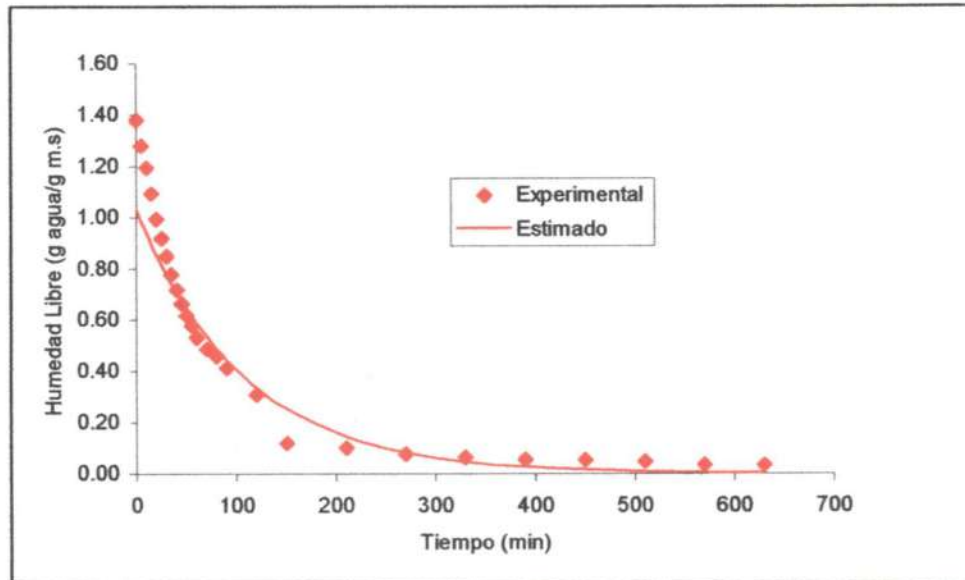


Figura 7.2.5. Curva de secado experimental y estimado de lúcumá biotipo II de espesor 4mm y temperatura de secado 50°C.

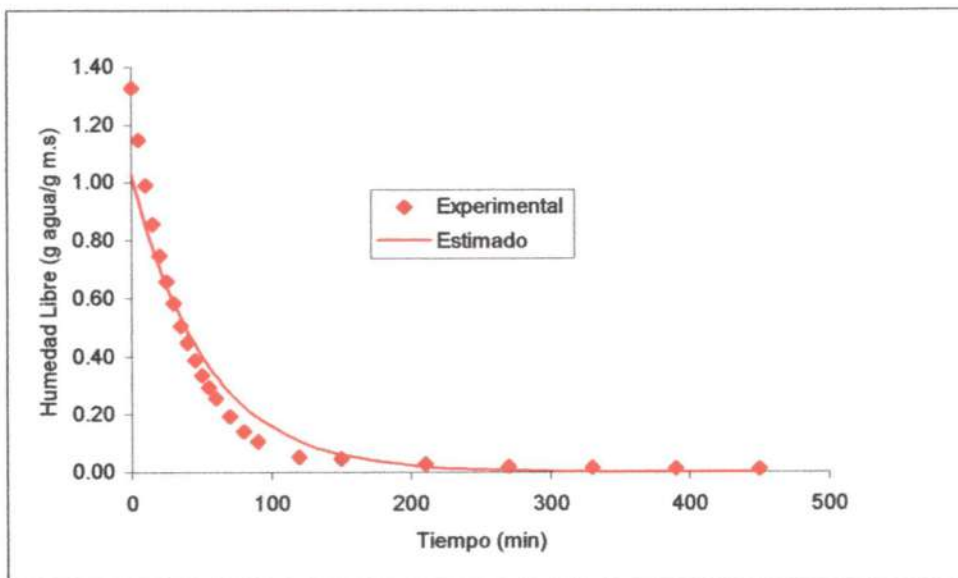


Figura 7.2.6. Curva de secado experimental y estimado de lúcumá biotipo II de espesor 4mm y temperatura de secado 60°C.

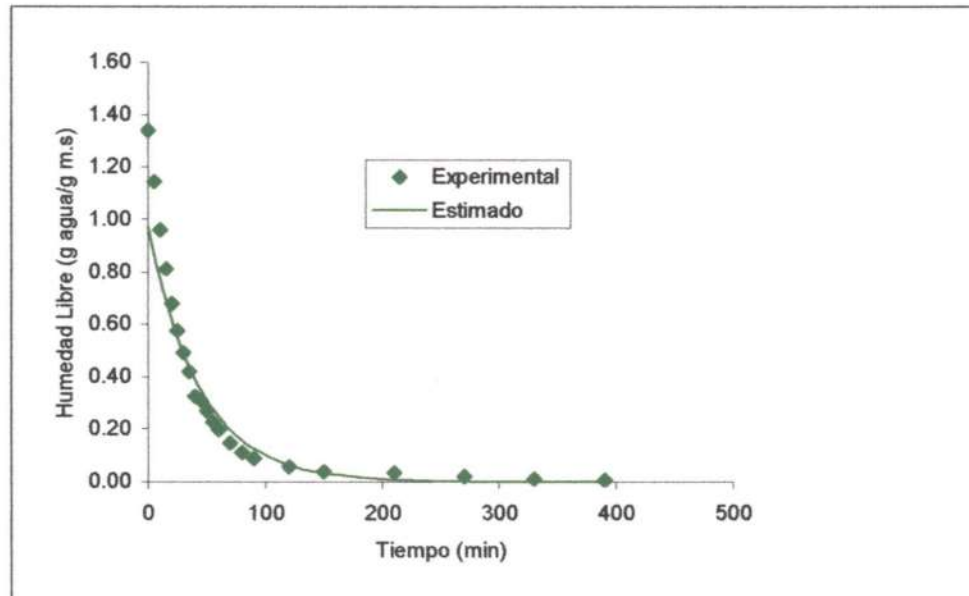


Figura 7.2.7. Curva de secado experimental y estimado de lúcuma biotipo II de espesor 4mm y temperatura de secado 70°C.

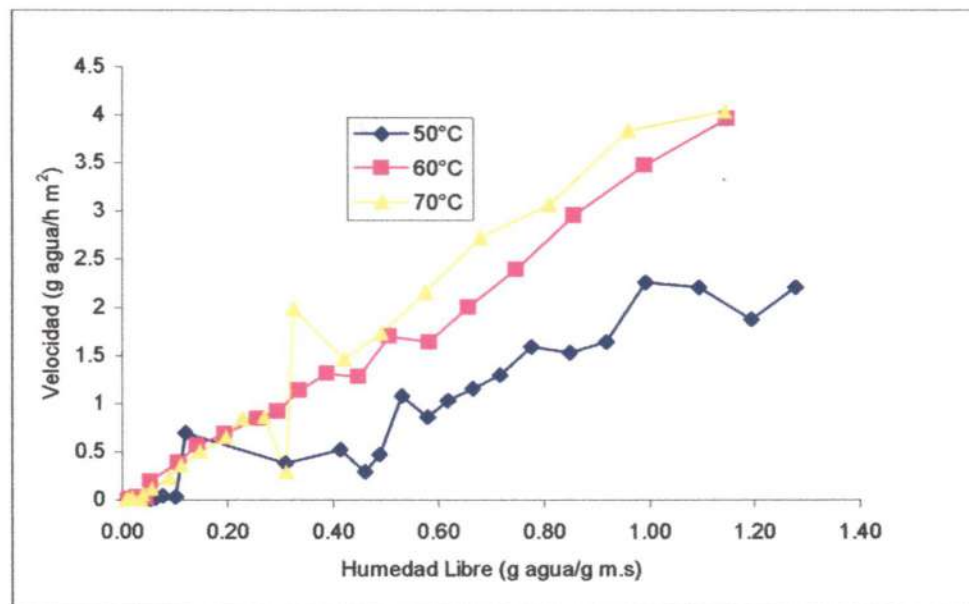


Figura 7.2.8. Velocidad de secado en función a la humedad libre de la lúcuma biotipo II de 4mm de espesor y temperaturas de 50, 60 y 70°C.

ANEXO 8

ANEXO 8.1 Análisis estadístico para los tiempos teóricos y experimentales de lúcumá del biotipo I (seda).

```
Comparison of Medians
-----

Median of sample 1: 3.0
Median of sample 2: 3.5

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2
Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 8.33333
Average rank of sample 2: 10.6667

W = 51.0   P-value = 0.375493
```

ANEXO 8.2 Análisis estadístico para los tiempos teóricos y experimentales de lúcumá del biotipo II (palo).

```
Comparison of Medians
-----

Median of sample 1: 1.77
Median of sample 2: 2.0

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2
Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 10.3333
Average rank of sample 2: 8.66667

W = 33.0   P-value = 0.535442
```

ANEXO 9

ANEXO 9.1 Análisis estadístico de la composición químico proximal de la fruta fresca y la harina de lúcuma procedente del biotipo I (seda) .

Proteínas

Comparison of Medians

Median of sample 1: 8.68

Median of sample 2: 6.14

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 5.0

Average rank of sample 2: 2.0

W = 0.0 P-value = 0.0808552

Grasa

Comparison of Medians

Median of sample 1: 1.58

Median of sample 2: 1.71

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 3.0

Average rank of sample 2: 4.0

W = 6.0 P-value = 0.662517

Fibra bruta

Comparison of Medians

Median of sample 1: 3.86

Median of sample 2: 3.42

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 4.33333

Average rank of sample 2: 2.66667

W = 2.0 P-value = 0.382731

Ceniza

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2.53

Median of sample 2: 1.96

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 5.0

Average rank of sample 2: 2.0

W = 0.0 P-value = 0.0808552

ELN

Comparison of Medians

Median of sample 1: 83.35

Median of sample 2: 86.77

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 3.0

Average rank of sample 2: 4.0

W = 6.0 P-value = 0.662517

Vitamina C

Comparison of Medians

Median of sample 1: 9.2

Median of sample 2: 3.37

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 5.0

Average rank of sample 2: 2.0

W = 0.0 P-value = 0.0808552

ANEXO 9.2. Análisis estadístico de la composición químico proximal de la fruta fresca y la harina de lúcuma procedente del biotipo II (palo)

Proteínas

```
Comparison of Medians
-----

Median of sample 1: 7.78
Median of sample 2: 5.67

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2
Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 5.0
Average rank of sample 2: 2.0

W = 0.0    P-value = 0.0808552
```

Grasa

```
Comparison of Medians
-----

Median of sample 1: 0.77
Median of sample 2: 1.19

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2
Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 2.33333
Average rank of sample 2: 4.66667

W = 8.0    P-value = 0.19043
```

Fibra bruta

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2.89

Median of sample 2: 2.51

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 4.0

Average rank of sample 2: 3.0

W = 3.0 P-value = 0.662517

Ceniza

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2.52

Median of sample 2: 2.02

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 4.66667

Average rank of sample 2: 2.33333

W = 1.0 P-value = 0.19043

ELN

Comparison of Medians

Median of sample 1: 2.52

Median of sample 2: 2.02

Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare medians

Null hypothesis: median1 = median2

Alt. hypothesis: median1 NE median2

Average rank of sample 1: 4.66667

Average rank of sample 2: 2.33333

W = 1.0 P-value = 0.19043

ANEXO 10

DATOS EXPERIMENTALES Y AJUSTADOS POR EL MODELO DE GAB DE LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN

Cuadro 10.1 Datos de humedades de equilibrio de la lúcumá biotipo I a 20°C

Actividad de agua	Humedad de equilibrio (g agua/100 g m.s)	
	Experimental	Ajustados por GAB
0,113	11,7586	11,0362
0,231	11,6269	12,4039
0,431	13,1998	15,6628
0,540	17,5663	18,2739
0,660	24,0714	22,3788
0,754	29,2504	27,1990
8,870	35,7880	38,8848

Cuadro 10.2 Datos de humedades de equilibrio de la lúcumá biotipo II a 20°C

Actividad de agua	Humedad de equilibrio (g agua/100 g m.s)	
	Experimental	Ajustados por GAB
0,113	7,5093	6,6853
0,231	8,2855	8,6981
0,431	9,4798	11,8755
0,540	13,7337	14,1754
0,660	18,8005	17,7337
0,754	23,7216	21,9331
8,870	29,7279	30,5578

ANEXO 11

ANEXO 11.1 Análisis de varianza de los 21 panelistas

Color

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fcalculado	p-value
Bloques	20	205,3829	10,26914	2,08	0,006
Tratamiento	10	317,0137	31,70137	6,41	<0,0001
Error total	200	989,7596	4,948795		
Total	230	15212,1556			

Olor

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fcalculado	p-value
Bloques	20	200,87203	10,04360	2,95	<0,0001
Tratamiento	10	154,98363	15,49833	4,54	<0,0001
Error total	200	682,07272	3,41036	3,41036	
Total	230	1037,92839			

Sabor

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fcalculado	p-value
Bloques	20	182,23298	9,111649	2,30	0,0019
Tratamiento	10	203,61246	20,36124	5,13	<0,0001
Error total	200	793,43844	3,96719	3,96719	
Total	230	385,84544	1179,28389		

ANEXO 11.2 Análisis de varianza de los 7 panelistas

Color

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fcalculado	p-value
Bloques	6	27,6194	4,6032	1,16	0,337
Tratamiento	10	123,3698	12,3369	3,12	0,029
Error total	60	237,1194	3,95186		
Total	76	388,1012			

Olor

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fcalculado	p-value
Bloques	6	16,3740	2,7290	1,10	0,3785
Tratamiento	10	44,2838	4,4283	1,78	0,0833
Error total	60	148,9688	2,4828		
Total	76	209,6267			

ANEXO 11.3 Resultado del análisis estadístico aplicando la prueba de DUNCAN ($\alpha=0,05$) para la evaluación del color, olor y sabor.

Color

Tratamiento	Promedio	Agrupación
M11	8,700	A
M10	8,043	A,B
M8	7,986	A,B
M6	7,829	A,B
M3	6,914	A,B,C
M5	6,900	A,B,C
M4	6,900	A,B,C
M7	6,371	A,B,C,D
M2	6,200	B,D,C
M9	4,900	D,C
M1	4,386	D

Olor

Tratamiento	Promedio	Agrupación
M4	8,5143	A
M3	8,4857	A
M6	8,3857	A,B
M7	7,5853	A,B
M10	7,5429	A,B
M11	7,2571	A,B
M8	7,1143	A,B
M2	7,0714	A,B
M5	6,5000	B
M9	6,4429	B
M1	6,4286	B

Sabor

Tratamiento	Promedio	Agrupación
M3	8,6000	A
M10	8,4286	A,B
M4	7,9429	A,B,C
M8	7,8857	A,B,C
M6	7,6571	A,B,C,D
M9	6,7143	B,C,D,E
M2	6,6571	B,C,D,E
M5	6,6429	B,C,D,E
M11	6,3429	C,D,E
M7	6,0286	D,E
M1	5,0714	E