

**“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
INGENIERÍA QUÍMICA**

**DESHIDRATACIÓN DE LA PULPA DE MANGO (TOMMY  
ATKINS) APLICANDO SECADO POR AIRE CALIENTE**

**Por:**

**Daniela Danitza Aleman Baldiviezo**

**Modalidad de graduación (Investigación Aplicada) presentado a  
consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL  
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería Química.**

**Septiembre de 2016**

**Tarija-Bolivia**

**VºBº**

\_\_\_\_\_  
Msc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez  
DECANO

\_\_\_\_\_  
Msc. Ing. Silvana Paz Ramírez  
VICEDECANA

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL EXAMINADOR:**

\_\_\_\_\_  
Ing. Miriam Barrero O.

\_\_\_\_\_  
Ing. Jorge Tejerina O.

\_\_\_\_\_  
Ing. Ignacio Velásquez S.

**ADVERTENCIA**

“El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo ellos únicamente responsabilidad de la autora”.

**DEDICATORIA**

El presente proyecto va dedicado con todo mi cariño y amor a mi madre por su apoyo incondicional y a mis hermanos por ser parte de cada momento de mi vida.

### **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, mi padre celestial por ser la luz que guía mi camino y por cada bendición que me da para ayudarme a cumplir este sueño anhelado.

A mi madre Cleofe por su dedicación, ejemplo de perseverancia y fe en la vida por estar siempre a mi lado.

A mis hermanos/as por todo el cariño, comprensión y por demostrarme que siempre puedo contar con ellos y a toda mi familia que me apoya incondicionalmente.

A mis amigos/as por su apoyo incondicional y por las experiencias que compartimos juntos.

A todo el personal del CEANID por su apoyo y colaboración.

Al tribunal calificador por guiarme con su sabiduría y consejos para el desarrollo del presente proyecto.

**PENSAMIENTO**

“No existe falta de tiempo, existe falta de interés. Porque cuando la gente realmente quiere, la madrugada se vuelve día, el martes se vuelve sábado y un momento se vuelve oportunidad”.

Anónimo

## ÍNDICE

ADVERTENCIA .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
PENSAMIENTO .....	iv
RESUMEN.....	v

## INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	5
OBJETIVO GENERAL .....	5
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE GRADO.....	5

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

1.1 MANGO.....	7
1.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MANGO .....	7
1.3 USOS Y APLICACIONES DEL MANGO .....	9
1.4 COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL MANGO .....	11
1.5 PROCESOS DE DESHIDRATACIÓN .....	12
1.5.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE DESHIDRATACIÓN .....	13
1.5.1.1 DESHIDRATACIÓN NATURAL .....	13
1.5.1.2 DESHIDRATACIÓN CON AIRE CALIENTE FORZADO .....	13
1.5.1.3 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....	14
1.5.1.4 DESHIDRATACIÓN POR LIOFILIZACIÓN O CONGELAMIENTO.....	14
1.6 FUNDAMENTOS DE SECADO .....	16
1.6.1 TRANSFERENCIA DE CALOR .....	16
1.6.1.1 CONVECCIÓN .....	16
1.6.1.2 CONDUCCIÓN .....	17
1.6.2 TRANSFERENCIA DE MASA .....	17

1.7 DEFINICIONES FUNDAMENTALES DEL DESHIDRATADO DE ALIMENTOS.....	18
1.8 CURVAS FUNDAMENTALES DE SECADO .....	20
1.8.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CURVAS DE SECADO .....	22
1.9 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE DESHIDRATADO	23
1.9.1 TEMPERATURA DE SECADO.....	23
1.9.2 AREA DE SUPERFICIE .....	23
1.9.3 TIEMPO DE SECADO .....	24
1.9.4 CARGA DE BANDEJAS .....	24
1.9.6 HUMEDAD FINAL EXIGIDA.....	24
1.9.7 FLUJO MÁSSICO O CAUDAL DE AIRE .....	24
1.10 CLASIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE SECADO .....	25
1.11 TIPOS DE SECADORES .....	26
1.11.1 SECADORES DIRECTOS.....	27
1.11.1.1 SECADOR DE BANDEJAS O COMPARTIMIENTOS .....	27

## **CAPÍTULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

2.1 INTRODUCCIÓN .....	29
2.2 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS .....	29
2.2.1 ESTUFA DE CONVECCIÓN FORZADA .....	29
2.2.2 BALANZA.....	29
2.2.2.1 ELECTRÓNICA .....	29
2.2.2.2 ANALÍTICA.....	29
2.2.3 ENVASADORA AL VACÍO .....	30
2.2.4 REFRACTÓMETRO.....	30
2.3 DIAGRAMA DEL PROCESO EXPERIMENTAL .....	30
2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL PARA EL DESHIDRATADO DE LA PULPA DE MANGO (TOMMY ATKINS) APLICANDO SECADO POR AIRE CALIENTE.....	31



2.4.1 RECEPCIÓN DEL MANGO.....	32
2.4.2 SELECCIÓN.....	32
2.4.3 LAVADO.....	33
2.4.4 ESCALDADO .....	33
2.4.5 ENFRIADO Y PELADO.....	34
2.4.6 CORTADO .....	35
2.4.7 INMERSIÓN .....	35
2.4.8 DESHIDRATACIÓN POR AIRE CALIENTE.....	36
2.4.9 ENVASADO.....	38
2.5 PROPIEDADES FÍSICAS.....	38
2.6 ANÁLISIS A DETERMINAR .....	39
2.6.1 FISCOQUÍMICOS .....	39
2.6.2 MICROBIOLÓGICOS .....	40
2.6.3 SENSORIAL.....	41
2.7 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	42
2.7.1 DISEÑO FACTORIAL 2 <sup>K</sup> .....	43

### **CAPÍTULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1 DATOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DEL MANGO APLICANDO AIRE CALIENTE .....	45
3.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA .....	45
3.3 ANÁLISIS FISCOQUÍMICO DEL MANGO .....	46
3.4 GRADOS BRIX DEL MANGO .....	47
3.5 PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL SECADO DEL MANGO .....	49
3.5 PORCENTAJE DE HUMEDAD EN BASE HÚMEDA DEL MANGO.....	54
3.6 CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE SECA.....	57
3.7 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE SECADO.....	62
3.9 EVALUACIÓN SENSORIAL EN EL PROCESO DE DESHIDRATACION PARA OBTENER MANGO DESHIDRATADO .....	67

3.9.1 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO COLOR EN EL DESHIDRATADO DE MANGO .....	67
3.9.2 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO OLOR EN EL DESHIDRATADO DE MANGO .....	69
3.9.3 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO TEXTURA EN EL DESHIDRATADO DE MANGO .....	71
3.9.4 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO SABOR EN EL DESHIDRATADO DE MANGO .....	73
3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	75
3.11 ANÁLISIS FISISCOQUÍMICO DEL PRODUCTO FINAL.....	77
3.12 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO FINAL .....	78
3.13 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE MANGO.....	79
3.13.1 BALANCE DE MATERIA EN EL LAVADO .....	81
3.13.2 BALANCE DE MATERIA EN EL ESCALDADO .....	82
3.13.3 BALANCE DE MATERIA EN EL ENFRIADO Y PELADO .....	84
3.13.4 BALANCE DE MATERIA EN EL CORTADO DE REBANADAS .....	85
3.13.5 BALANCE DE MATERIA EN LA INMERSIÓN .....	85
3.13.6 BALANCE DE MATERIA EN EL DESHIDRATADO DE MANGO .....	87
3.14 BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE MANGO.....	90
3.14.1 BALANCE DE ENERGÍA EN EL ESCALDADO .....	91
3.14.2 BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE SECADO .....	93

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1 CONCLUSIONES .....	94
4.2 RECOMENDACIONES.....	96

### **BIBLIOGRAFÍA**

BIBLIOGRAFÍA .....	98
--------------------	----

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	
ANEXO B EQUIPOS Y MATERIAL DE LABORATORIO.....	
ANEXO C PROCESO EXPERIMENTAL .....	
ANEXO D RESULTADOS DE LA VARIACIÓN DE PESO EN EL SECADO .....	
ANEXO E CÁLCULO DE LA CINÉTICA DE SECADO.....	
ANEXO F TEST DE ANÁLISIS SENSORIAL .....	
ANEXO G DIAGRAMA PSICOMÉTRICO .....	
ANEXO H FOTOGRAFÍAS .....	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Principales países productores de mango.....	3
<b>Tabla 2</b> Superficie, producción y rendimiento del mango en Bolivia.....	3
<b>Tabla I-1</b> Taxonomía del mango.....	9
<b>Tabla I-2</b> Tabla boliviana de composición de alimentos .....	12
<b>Tabla I-3</b> Ventajas y desventajas de los procesos de deshidratación.....	15
<b>Tabla I-4</b> Tipos de secadores .....	26
<b>Tabla II-1</b> Propiedades físicas del mango.....	39
<b>Tabla II-2</b> Técnicas para la determinación de las propiedades fisicoquímicas.....	40
<b>Tabla II-3</b> Técnicas para la determinación de las propiedades microbiológicas .....	41
<b>Tabla II-4</b> Variables del diseño experimental.....	43
<b>Tabla II-5</b> Matriz de experimentos .....	44
<b>Tabla III-1</b> Características físicas de la fruta fresca.....	45
<b>Tabla III-2</b> Propiedades fisicoquímicas del mango fresco .....	46
<b>Tabla III-3</b> ° Brix del mango.....	47
<b>Tabla III-4</b> Comparación de los ° Brix del mango.....	48
<b>Tabla III-5</b> Pérdida de peso del mango a 60 y 70°C y 0,5 mg/ml de concentración de ácido cítrico.....	50
<b>Tabla III-6</b> Pérdida de peso en el secado del mango a 60 y 70°C y 1 mg/ml de concentración de ácido cítrico.....	52
<b>Tabla III-7</b> Porcentaje de la humedad del mango.....	55
<b>Tabla III-8</b> Contenido de humedad en base seca.....	58
<b>Tabla III-9</b> Contenido de humedad en base seca.....	60
<b>Tabla III-10</b> Datos para la velocidad de secado .....	63
<b>Tabla III-11</b> Velocidad de secado.....	66
<b>Tabla III-12</b> Evaluación sensorial del atributo color en el deshidratado de mango ..	68
<b>Tabla III-13</b> Evaluación sensorial del atributo olor en el deshidratado de mango ....	70
<b>Tabla III-14</b> Evaluación sensorial del atributo textura en el deshidratado de mango	72
<b>Tabla III-15</b> Evaluación sensorial del atributo sabor en el deshidratado de mango..	74
<b>Tabla III-16</b> Valores experimentales de temperatura y concentración.....	76

<b>Tabla III-17</b> Pruebas de los efectos inter-sujetos.....	77
<b>Tabla III-18</b> Propiedades fisicoquímicas del mango deshidratado.....	78
<b>Tabla III-19</b> Análisis microbiológico del mango deshidratado .....	79
<b>Tabla III-20</b> Propiedades psicométricas del aire en la estufa .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Distribución de la producción de mangos en el mundo en 2004 por continentes.....	2
<b>Figura 1-1</b> Descripción de las partes del mango .....	8
<b>Figura 1-2</b> Contenido de humedad en función del tiempo.....	20
<b>Figura 1-3</b> Velocidad de secado en función del contenido de humedad.....	21
<b>Figura 1-4</b> Velocidad de secado en función del tiempo.....	21
<b>Figura 1-5</b> Secador de bandejas .....	27
<b>Figura 2-1</b> Diagrama de bloques - deshidratación de mango .....	31
<b>Figura 2-2</b> Mango seleccionado.....	32
<b>Figura 2-3</b> Lavado del mango .....	33
<b>Figura 2-4</b> Escaldado del mango.....	34
<b>Figura 2-5</b> Pelado del mango .....	34
<b>Figura 2-6</b> Cortado del mango en rebanadas .....	35
<b>Figura 2-7</b> Inmersión de las rebanadas de mango en ácido cítrico .....	36
<b>Figura 2-8</b> Esparcido del mango en las bandejas.....	37
<b>Figura 2-9</b> Desecador y producto terminado en bolsas de polipropileno .....	38
<b>Figura 2-10</b> Modelo general de un proceso o sistema .....	42
<b>Figura 3-1</b> Balance de materia .....	80
<b>Figura 3-2</b> Balance de energía .....	91

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 3-1</b> Pérdida de peso del mango a 60 y 70°C .....	51
<b>Gráfica 3-2</b> Pérdida de peso del mango a 60 y 70°C .....	53
<b>Gráfica 3-3</b> Porcentaje de humedad durante el secado de la pulpa de mango .....	56
<b>Gráfica 3-4</b> Humedad en base seca .....	59
<b>Gráfica 3-5</b> Humedad en base seca .....	61
<b>Gráfica 3-6</b> Velocidad de secado en función de la humedad en base seca .....	64
<b>Gráfica 3-7</b> Valores promedio del atributo color .....	69
<b>Gráfica 3-8</b> Valores promedio del atributo olor .....	71
<b>Gráfica 3-9</b> Valores promedio del atributo textura .....	73
<b>Gráfica 3-10</b> Valores promedio del atributo sabor .....	75

## SIMBOLOGÍA

°C = Grados centígrados

K = Grados kelvin

C = Concentración

T = Temperatura

t = Tiempo

g = Gramos

lt = Litros

ml = Mililitros

% = Porcentaje

Kg = Kilogramo

mg = miligramo

Ha = Hectárea

m = Metro

m<sup>2</sup> = Metro cuadrado

mm = Milímetros

s = Segundo

min = Minuto

ρ = Densidad

SST = Sólidos solubles totales

MS= Mango seleccionado

A1= Agua para lavado

AR= Agua residual

ML= Mango limpio

A2= Agua para escaldado

AV= Agua evaporada

AC1= Agua caliente

ME= Mango escaldado

A3= Agua para enfriado

C= Cáscara

AC2= Agua caliente



MP= Mango pelado

S= Semilla

DR= Desechos de rebanadas

MR= Mango en rebanadas

AC<sub>i</sub> = Solución de ácido cítrico inicial

AC<sub>r</sub> = Solución de ácido cítrico residual

MA= Mango tratado

G1= Cantidad de aire caliente

G2= Cantidad de aire húmedo

MD= Mango deshidratado

X<sub>ML</sub><sup>H2O</sup> = Fracción del contenido de humedad inicial del mango

X<sup>SS</sup> = Fracción del sólido seco del mango

Tbh = Temperatura del bulbo húmedo

Tbs = Temperatura del bulbo seco

mmHg = Milímetros de mercurio

HR =Humedad relativa

Y = Humedad absoluta

H = Entalpia

V<sub>e</sub> = Volumen específico

SS = Sólido seco

SS<sub>1</sub> = Cantidad de alimento húmedo

WE = Cantidad de agua evaporada

W<sub>2</sub> = Contenido de humedad en base seca del alimento

W<sub>1</sub> = Contenido de humedad seco del producto deshidratado

Y<sub>2</sub>= Cantidad de humedad absoluta a la salida de la estufa

Y<sub>1</sub>= Cantidad de humedad a la entrada del secador

G<sub>1</sub> = Cantidad de aire a la entrada del secador

G<sub>2</sub> = Cantidad de aire a la salida del secador

Q = Cantidad de calor

Cp = Calor específico

ΔT = Cambio de temperatura

m.s.n.m = Metros sobre el nivel del mar

$t_c$  = Tiempo crítico

ufc/g = Unidades formadas de colonias

$X_h$  = Contenido de humedad en base húmeda (fracción)

$X_s$  = Humedad del material en base seca (fracción)

$m_h$  = Masa total

$m_{H_2O}$  = masa del agua contenida en el material

$m_s$  = masa seca del material

$X$  = Humedad

$X_L$  = Humedad libre

$X_E$  = Humedad en equilibrio

$dX$  = Variación de la humedad en base seca

$W$  = Velocidad de secado

$m_{aire}$  = Masa del aire

$A$  = Área