

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ELABORACIÓN DE TOMATE DESHIDRATADO

Por:

Cynthia Daiana Ortiz Jurado

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.

Abril de 2016

TARIJA – BOLIVIA

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos, expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

Dedicado a mis padres y a mi familia, quienes
me apoyaron y creyeron siempre en mí.

En primer lugar agradecer a Dios por ser mi guía en todo el camino de mi vida.

A mis padres y a mis hermanos por todo el cariño y el apoyo incondicional brindado, sin el cual no hubiera conseguido este logro en mi vida.

A mi familia y amigos, que estando cerca o lejos, me hicieron llegar su apoyo y me animaron desde el principio hasta el final.

A mis tribunales y guías que con sus consejos y su ayuda desinteresada ayudaron a la realización de este trabajo.

Al ing. Marco Taquichiri y sus colaboradores, los cuales conforman el Laboratorio de Compuestos Bioactivos, por la ayuda prestada y su generosa colaboración para la realización de este trabajo.

“Nankurunaisa: Vive de principio a fin hoy por el bien del mañana y no olvides sonreír siempre”.

ÍNDICE

	Página
Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Pensamiento	iv
Resumen	v

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Objetivos	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
Justificación	6

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades	9
1.2 Importaciones y consumo de tomate y sus derivados	9
1.3 Importancia del tomate	13
1.4 Deshidratación	15
1.4.1 Actividad del agua	16
1.4.2 Pardeamiento	16
1.4.3 Pardeamiento no enzimático	16

1.4.3.1 Factores que influyen en el pardeamiento no enzimático	17
1.4.3.2 Evaluación en el pardeamiento no enzimático	18
1.4.3.3 Prevención del pardeamiento no enzimático	18
1.4.4 Pardeamiento enzimático	18
1.4.4.1 Prevención del pardeamiento enzimático	19
1.4.5 Factores que intervienen en el proceso de deshidratación	19
1.4.5.1 Temperatura del aire	20
1.4.5.2 Humedad relativa del aire	20
1.4.5.3 Velocidad del aire	20
1.4.5.4 El agua en los alimentos	20
1.4.5.5 Pretratamientos	21
1.4.5.6 Espesor del material a secar en la bandeja	21
1.4.5.7 Humedad final exigida	22
1.5 Métodos utilizados para la deshidratación de tomate	22
1.5.1 Deshidratación solar	22
1.5.2 Deshidratación osmótica	23
1.5.3 Deshidratado con microondas	23
1.5.4 Deshidratado por liofilización	23
1.5.5 Deshidratación en cámaras con aire caliente forzado	24
1.5.5.1 Tipos de cámaras de secado con aire caliente forzado	25
1.5.5.1.1 Secadores continuos	25
1.5.5.1.2 Secadores discontinuos o por lotes	27

1.6 Selección del proceso de deshidratación	28
1.7 Elección del secador para el proceso	30
1.8 Secador de bandejas	30
1.8.1 Partes de un secador	31
1.8.1.1 Cámara de acondicionamiento de aire	32
1.8.1.2 Cámara de Secado	32
1.8.1.3 Ventilador	32
1.9 Fundamentos del proceso de secado	32
1.9.1 Transferencia de calor	33
1.9.1.1 Transferencia de calor por convección	33
1.9.1.2 Transferencia de calor por conducción	34
1.9.2 Transferencia de masa	34
1.9.2.1 Condiciones externas	34
1.9.2.2 Condiciones internas	35
1.9.2.3 Contenido de humedad en base seca o base húmeda	35
1.9.2.4 Humedad de equilibrio	36
1.9.2.5 Humedad libre	36
1.9.3 Cinética del secado	36
1.9.3.1 Periodos de secado	37
1.9.3.2 Curvas de secado	37
1.9.4 Tiempo de secado	39
1.10 Requerimientos del tomate como materia prima	40

1.11 Proceso de deshidratación de tomate	41
1.12 Requerimientos de calidad para el tomate deshidratado	43
1.12.1 Características organolépticas	43
1.12.2 Características químicas	43
1.12.3 Características microbiológicas (en u.f.c./g)	43
1.12.4 Características de empaque y embalaje	45

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materia prima	47
2.1.1 Variedades de tomate	47
2.1.1.1 Tomate Río Grande	47
2.1.1.2 Tomate Bella Rosa	48
2.2 Selección de la materia prima	48
2.2.1 Madurez	48
2.2.2 Análisis fisicoquímico de la materia prima	50
2.2.3 Porcentaje de descarte para la deshidratación	51
2.2.4 Sólidos solubles totales	52
2.3 Diseño factorial	53
2.4 Equipos usados para la deshidratación de tomate	58
2.5 Proceso de deshidratación de tomate deshidratado a escala de laboratorio	58
2.5.1 Selección de la materia prima	58

2.5.2 Lavado	59
2.5.3 Escurrido del agua	59
2.5.4 Rebanado	59
2.5.5 Eliminación de semillas	60
2.5.6 Sulfitación	61
2.5.7 Escurrido	62
2.5.8 Deshidratación de tomate mediante aire caliente forzado en una cámara de secado de bandejas	62
2.5.9 Enfriado	63
2.5.10 Envasado	63
2.5.11 Almacenado	63
2.6 Análisis del tomate deshidratado	63
2.6.1 Evaluación sensorial	64
2.6.2 Examen higiénico-sanitario	64
2.6.3 Análisis fisicoquímico	65

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados obtenidos en la parte experimental del proyecto de investigación	67
3.1.1 Variación de la humedad del sólido con el tiempo	67
3.1.2 Contenido de humedad en base seca	70

3.2 Cálculo de la cinética de secado	73
3.2.1 Método de los 3 puntos	74
3.2.2 Periodo anticrítico o de velocidad constante	78
3.2.3 Primer periodo postcrítico o de velocidad decreciente	79
3.2.4 Segundo periodo postcrítico o de velocidad decreciente	79
3.3 Cálculo del tiempo de secado	81
3.3.1 Tiempo anticrítico	81
3.3.2 Tiempo primer periodo postcrítico	82
3.3.3 Tiempo segundo periodo postcrítico	82
3.3.4 Tiempo total de secado	83
3.4 Evaluación sensorial (caracteres organolépticos)	83
3.4.1 Evaluación del aspecto	84
3.4.2 Evaluación de color	85
3.4.3 Evaluación del aroma	86
3.4.4 Evaluación del sabor	87
3.4.5 Evaluación de la consistencia	88
3.4.6 Impresión sensorial general	89
3.5 Balance de materia	91
3.5.1 Balance en el bloque 1 (Eliminación de semillas)	92
3.5.2 Balance en el bloque 2 (Sulfitación)	93
3.5.3 Balance en el bloque 3 (Deshidratación)	93
3.6 Balance de energía	97

3.7 Análisis estadístico del diseño experimental	98
3.7.1 Análisis de regresión Tiempo de deshidratación	101
3.8 Análisis del producto	103
3.8.1 Análisis fisicoquímico del producto	104
3.8.2 Análisis microbiológico del producto	105
3.8.3 Control de calidad del producto	106
3.9 Diseño del secador de bandejas	108
3.9.1 Características del secador usado experimentalmente	108
3.9.2 Datos del secado para el diseño	111
3.9.3 Escalamiento del secador	111
3.9.4 Tamaño de las bandejas de secado	113
3.9.5 Materia prima a secar	114
3.9.6 Número de bandejas	115
3.9.7 Dimensionamiento del secador	115
3.9.8 Funcionamiento general del secador	118
3.9.9 Selección de los equipos auxiliares	119
3.9.9.1 Balance de materia y energía en la cámara de secado	119
3.9.10 Selección del calentador de aire	121
3.9.11 Selección del ventilador de aire	122
3.9.12 Sugerencias sobre la construcción del secador	123
3.9.13 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor “U”	125
3.9.13.1 Cálculo de los coeficientes de película	126

3.9.13.1.1 Coeficiente de película externa (25 °C)	126
3.9.13.1.2 Coeficiente de película interna (60 °C)	128

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones	133
4.2 Recomendaciones	137

BIBLIOGRAFIA	140
---------------------	------------

Anexo A

Anexo B

Anexo C

Anexo D

Anexo E

Anexo F

Anexo G

Anexo H

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla I.1 - Principales países productores de tomate a nivel mundial (toneladas por año)	2
Tabla I.2 - Principales países productores de tomate en Sudamérica (toneladas por año)	3
Tabla I.3 - Producción de tomate en Bolivia (toneladas por año)	4
Tabla I.4 - Producción de tomate en Tarija (toneladas por año)	4
Tabla I.5 - Producción de tomate en Tarija año 2013 (toneladas por año)	5
Tabla 1.1 - Países importadores de tomate en el año 2008	10
Tabla 1.2 - Principales países importadores de tomate pelado	11
Tabla 1.3 - Principales países importadores de pasta de tomate en el año 2008	12
Tabla 1.4 - Principales países importadores de tomate deshidratado en el año 2005	13
Tabla 1.5 - Propiedades nutricionales del tomate “perita”	14
Tabla 1.6 - Tipos de secadores	25
Tabla 1.7 - Ventajas, desventajas y viabilidad de los distintos procesos de deshidratación	29
Tabla 1.8 - Características microbiológicas del tomate deshidratado	43
Tabla 1.9 - Actividad del agua y crecimiento microbiano	44
Tabla 1.10 - Crecimiento microbiano en diferentes alimentos por su actividad de agua	45
Tabla 2.1 – Propiedades fisicoquímicas del tomate “perita” fresco	50
Tabla 2.2 - Análisis fisicoquímico de tomate “perita” fresco	50

Tabla 2.3 - Materia sólida en tomate “perita”	52
Tabla 2.4 - Sólidos solubles en tomate “perita”	52
Tabla 2.5 - Niveles de las variables para la deshidratación de tomate	54
Tabla 2.6 - Combinaciones de las variables de la deshidratación	55
Tabla 2.7 - Materia utilizable y descarte en la elaboración de tomate deshidratado	60
Tabla 2.8 - Sulfitado de la materia prima	61
Tabla 3.1 - Ensayos realizados en la elaboración de tomate deshidratado	68
Tabla 3.2 - Contenido de humedad en base seca para los distintos ensayos	71
Tabla 3.3 - Método de los 3 puntos	76
Tabla 3.4 - Velocidad de secado para los tres periodos	80
Tabla 3.5 - Evaluación sensorial general	89
Tabla 3.6 - Corrientes dentro del balance de materia	94
Tabla 3.7 - Datos para el Análisis de Varianza	99
Tabla 3.8 - Análisis de Varianza ANOVA para la variable dependiente tiempo	100
Tabla 3.9 - Variables Introducidas/Eliminadas ^b	101
Tabla 3.10 - Resumen del Modelo ^b	101
Tabla 3.11 - ANOVA ^b	102
Tabla 3.12 - Coeficientes ^a	102
Tabla 3.13 - Análisis fisicoquímico del tomate deshidratado	105
Tabla 3.14 - Análisis microbiológico del tomate deshidratado	106
Tabla 3.15 - Anhídrido sulfuroso en el tomate seco	107

Tabla 3.16 - Rehidratación del tomate deshidratado	107
Tabla 3.17 - Características del secador usado para la experimentación	110
Tabla 3.18 - Datos del secado para el diseño del secador propuesto	111
Tabla 3.19 - Dimensiones de la bandeja diseñada	114
Tabla 3.20 - Dimensionamiento interno del secador diseñado	116
Tabla 3.21 - Medidas internas y externas del secador diseñado	118

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 - Tomate fresco	9
Figura 1.2 - Deshidratador solar	22
Figura 1.3 - Representación esquemática de un secador de túnel de flujo de aire a contracorriente	24
Figura 1.4 - Secador continuo de túnel	26
Figura 1.5 - Secador de cinta transportadora	26
Figura 1.6 - Secador de bandejas	27
Figura 1.7 - Secador bajo vacío	28
Figura 1.8 - Partes de un secador de bandejas	31
Figura 1.9 - Curva de régimen de secado	38
Figura 1.10 - Diagrama de flujo para la elaboración de tomate deshidratado (Elaboración de tomate seco en la provincia San Juan, Argentina)	42
Figura 2.1 - Tomate Río grande (Perita)	47
Figura 2.2 - Tomate Bella Rosa (Manzano)	48
Figura 2.3 - Carta de color de la USDA para la madurez del tomate	49
Figura 2.4 - Porcentaje de descarte en la elaboración de tomate deshidratado	51
Figura 2.5 - Evaluación de sólidos solubles en tomate de diferente madurez	53
Figura 2.6 - Materia prima	59
Figura 2.7 - Tomate rebanado de 0,5 cm	60
Figura 2.8 – Materia utilizable y descarte en el proceso de elaboración de tomate deshidratado	64
Figura 2.9 - Sulfitado de la materia prima	62

Figura 3.1 - Variación de la humedad con el tiempo para los 9 ensayos	69
Figura 3.2 - Contenido de humedad en base seca vs. tiempo (X vs. t)	72
Figura 3.3 - Curva de secado con la iteración de datos dX/dt vs. X	77
Figura 3.4 - Curva de secado con los datos ajustados al modelo dX/dt vs. X	78
Figura 3.5 - Curva de velocidad de secado	81
Figura 3.6 - Evaluación del aspecto del tomate deshidratado	84
Figura 3.7 - Evaluación del color del tomate deshidratado	85
Figura 3.8 - Evaluación del aroma del tomate deshidratado	86
Figura 3.9 - Evaluación del sabor del tomate deshidratado	87
Figura 3.10 - Evaluación de la consistencia del tomate deshidratado	88
Figura 3.11 - Impresión sensorial general del tomate deshidratado	90
Figura 3.12 - Balance de materia para la deshidratación de tomate mediante aire caliente forzado	96
Figura 3.13 - Tomate deshidratado	103
Figura 3.14 - Tomate deshidratado envasado al vacío	104
Figura 3.15 - Secador usado para la experimentación	108
Figura 3.16 - Vista interna del secador de bandejas usado en la experimentación	109
Figura 3.17 - Bandeja del secador usado en la experimentación	109
Figura 3.18 - Bandeja diseñada	114
Figura 3.19 - Medidas externas del secador diseñado	117
Figura 3.20 - Medidas internas del secador diseñado	117
Figura 3.21 - Estructura de la pared del desecador	125

NOMENCLATURA, ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA UTILIZADA

A: Área

A_{BSD} : Ancho de la bandeja del secador diseñado

AISI: America Iron and Steel Institute

A_{ISE} : Ancho del secador experimental

CAT: Cámara Agropecuaria Tarija

°C: Grados Celsius

CEANID: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo

cm: centímetros

C_p : calor específico

d: diámetro

D_{eq} : Diámetro equivalente

dX : variación de la humedad

$d\Theta$: variación del tiempo

E_{BSD} : espesor de la bandeja del secador diseñado

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

g: gramos

h: hora

H: humedad

H_{BSD} : altura de la bandeja del secador diseñado

h_{ext} : coeficiente de película externa

H_f : humedad final

h_{fg} : calor latente de vaporización del agua

H_i : humedad inicial

H_{int} : coeficiente de película interna

K : Conductividad térmica

$^{\circ}K$: grados Kelvin

K_{acero} : conductividad térmica del acero

K_{Al} : conductividad térmica del Aluminio

Kcal: kilocaloría

Kcal/h: kilocalorías por hora

Kcal/kg: kilocaloría por kilogramo

Kg: kilogramos

Kg/m^2 : kilogramos por metro cuadrado

K_{poli} : conductividad térmica del poliestireno expandido

kV: kilovatios

kW/h: Kilowatts por hora

ln: logaritmo natural

LOU: Laboratorio de Operaciones Unitarias

L_{SD} : largo del secador diseñado

L_{SE} : largo del secador experimental

m: metro

m^2 : metro cuadrado

m_{aire} : masa de aire

mm: milímetros

Mm: materia prima usada en la experimentación

Mp: materia prima

m/s: metros por segundo

Mues.: muestra

mv: masa de agua evaporada

m_i : masa inicial

N_B : número de bandejas del secador diseñado

P: presión

P_{BSD} : Profundidad de la bandeja del secador diseñado

pH: potencial de hidrógeno

P_{ISE} : profundidad del secador experimental

Pm: perímetro mojado

Pr: número de Prandtl

Prom.: promedio

P_{SD} : profundidad del secador diseñado

Q: Calor

Q_l : calor latente

Q_p : calor perdido

Q_s : calor sensible

R: constante de los gases ideales

Re: número de Reynolds

SS: masa de sólido seco

t: tiempo

T: tonelada

Tamb: Temperatura ambiente

Tbh: temperatura de bulbo húmedo

t_c : tiempo crítico

T_c : temperatura de aire caliente

temp.: temperatura

T_{ext} : temperatura externa

T_f : temperatura de aire frío

t_i : tiempo inicial

T_{int} : temperatura interna

Tn: Tonelada

Top: Temperatura de operación

Ts: temperatura de superficie

U: coeficiente global de transferencia de calor

U.f.c./g.: unidades formadoras de colonias por gramo.

UI: unidad internación de cantidad de materia

USDA: United States Department of Agriculture

v: volumen de aire

V: Vatios

W: Watts

W_s : velocidad de secado

W_a : Velocidad anticrítica

W_{p1} : Velocidad postcrítica primer periodo

W_{p2} : Velocidad postcrítica segundo periodo

X_c : humedad crítica

$X_{húmeda}$: contenido de humedad en base húmeda

X_m : variable en modelo

X_p : variable en prototipo

X_{seca} : contenido de humedad en base seca

Θ_a : tiempo de secado anticrítico

Θ_p : tiempo de secado postcrítico

λ : factor de escala

η : eficiencia

ΔX_{ac} : espesor de la capa de acero

ΔX_{Al} : espesor de la capa de aluminio

ΔX_{Poli} : espesor de la capa de poliestireno expandido

v : velocidad de difusión de la cantidad de movimiento

α : velocidad de difusión de calor

%: porcentaje