

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**ELABORACIÓN EXPERIMENTAL DE OREJONES DE  
DURAZNO (variedad *Flordaking*) MEDIANTE  
DESHIDRATACIÓN POR ÓSMOSIS Y SECADO TÉRMICO**

**Por:**

**NOE ALAIN HUMACATA SOLIZ**

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

**Diciembre del 2019  
Tarija-Bolivia**

V°B°

---

Ing. Juan Pablo Herbas Barrancos  
PROFESOR GUÍA

---

M.Sc. Ing. Ernesto R. Alvarez Gozalvéz  
DECANO  
FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA

---

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa  
VICEDECANA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. René Michel Cortés

---

Ing. David Balderrama Paredes

---

Ing. Miguel Vargas Coro

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

**DEDICATORIA:**

Este presente trabajo está dedicado a Dios por ser mi guía y fortaleza en todo momento.

A mis padres Leonarda Soliz Gamio y Policarpio Humacata Jerez (+) por la confianza, amistad y apoyo incondicional.

**AGRADECIMIENTO:**

A Dios “JEHOVA” por regalarme una vida maravillosa, llena de amor e inteligencia.

A mi madre Leonarda Soliz y hermanos: Efraín, Alex, Elías y Fernando por creer siempre en mí.

A mis compañeros: Adrián, Diego, Lenny, Anabel y Fabián por su ayuda incondicional.

A la universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, en especial a la carrera de Ingeniería Química y sus Docentes por la formación académica que me dieron.

**PENSAMIENTO:**

El conocimiento te dará poder,  
pero el carácter te dará respeto.  
(Bruce Lee).

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Páginas</b>
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v

### **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	4
1.2.1 Objetivo general .....	4
1.2.2 Objetivo específicos.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	4
1.3.1 Justificación tecnológica .....	4
1.3.2 Justificación económica .....	5
1.3.3 Justificación social .....	5
1.3.4 Justificación ambiental.....	5

### **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

2.1 PRODUCTO: OREJONES DE DURAZNO .....	6
2.1.1 Importancia de los orejones de durazno.....	6
2.1.2 Uso de los orejones de durazno.....	7

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA “DURAZNO” .....	7
2.2.1 Taxonomía del durazno.....	7
2.2.2 Morfología del durazno.....	7
2.2.3 Importancia del durazno.....	9
2.2.4 Características físicas y químicas del durazno.....	10
2.2.5 Las variedades de durazno .....	10
2.2.5.1 Durazno Ulincate .....	11
2.2.5.2 Durazno flordaking .....	11
2.3 PELADO QUÍMICO .....	12
2.3.1 Métodos de pelados.....	12
2.3.2 Pelado con soda cáustica.....	12
2.3.3 Fenómeno de remoción de la piel (cáscara).....	13
2.4 CONTROL DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO.....	15
2.4.1 Pardeamiento enzimático .....	15
2.4.2 Pardeamiento no enzimático .....	16
2.4.2.1 Caramelización.....	16
2.4.2.2 Reacción de Maillard .....	17
2.4.2.3 La oxidación del ácido ascórbico (vitamina C).....	17
2.4.3 Control del pardeamiento.....	17
2.4.3.1 Control del pardeamiento con agentes químicos .....	17
2.5 AGENTES OSMÓTICOS .....	19
2.5.1 La sacarosa.....	20
2.6 FUNDAMENTO DEL PROCESO DE ÓSMOSIS .....	21



2.6.1 Fenómenos de transferencia de materia en la deshidratación osmótica.....	23
2.6.2 Cinética del proceso .....	24
2.6.2.1 Características del alimento .....	25
2.6.2.2 Pretratamiento del alimento .....	25
2.6.2.3 Tamaño y forma del producto a elaborar .....	25
2.6.2.4 Temperatura .....	26
2.6.2.5 Agitación.....	26
2.6.2.6 Relación masa/masa .....	27
2.6.2.7 Presión del sistema.....	27
2.6.2.8 Concentración de la solución osmótica.....	27
2.6.2.9 Tiempo de proceso .....	28
2.6.2.10 pH.....	28
2.6.3 Mecanismo de transferencia de materia en la deshidratación osmótica .....	28
2.6.4 Ventajas del proceso de ósmosis.....	29
2.6.5 Desventajas del proceso de ósmosis .....	30
2.7 COMPORTAMIENTO MICROBIANO EN FUNCIÓN DE LA ACTIVIDAD ACUOSA ( $A_w$ ) DEL ALIMENTO .....	30
2.8 SECADO TÉRMICO.....	31
2.8.1 Mecanismos que intervienen en el proceso de secado térmico.....	32
2.8.1.1 Transferencia de calor .....	32
2.8.1.2 Transmisión de la masa.....	33
2.8.2 Etapas del proceso de secado .....	34
2.8.3 Tipos de secado térmico.....	35
2.8.3.1 Secado natural (SN) .....	35

2.8.3.2 Secado al vacío (SV).....	36
2.8.3.3 Secado por congelación (SL) .....	36
2.8.3.4 Secado por aire caliente (SAC).....	37
2.9 CALIDAD DEL PRODUCTO .....	37
2.9.1 Normas de calidad.....	38
2.10 ENVASADO.....	40
2.11 ALMACENAMIENTO.....	40
2.12 PROCESO PRODUCTIVO .....	41
2.12.1 Descripción del proceso productivo.....	42

### **CAPÍTULO III**

#### **PARTE EXPERIMENTAL**

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	45
3.1.1 Características físicas de la materia prima .....	46
3.1.2 Propiedades fisicoquímicas .....	47
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	49
3.2.1 Deshidratado por ósmosis .....	49
3.2.1.1 Diseño factorial .....	50
3.2.2 Secado térmico .....	52
3.2.2.1 Selección del secado térmico: .....	52
3.2.2.2 Secado por aire caliente .....	55
3.3 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS .....	56
3.3.1 Equipos utilizados .....	56
3.3.2 Materiales de laboratorio.....	56

3.3.3 Reactivos e insumos.....	57
3.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO TECNOLÓGICO .....	58
3.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO .....	59
3.5.1 Selección .....	59
3.5.2 Lavado.....	60
3.5.3 Pelado químico.....	60
3.5.4 Cortado en rodajas.....	63
3.5.5 Pesado .....	64
3.5.6 Tratamiento preventivo de pardeamiento.....	64
3.5.7 Deshidratación osmótica .....	65
3.5.8 Drenado y lavado .....	68
3.5.9 Secado por aire caliente .....	69
3.5.10 Envasado .....	71
3.5.11 Almacenado.....	72
3.6 CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO.....	72
3.6.1 Evaluación de las pruebas organolépticas.....	73

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

4.1 ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA.....	78
4.2 FASE EXPERIMENTAL .....	79
4.2.1 Deshidratación osmótica del durazno (fase inicial) .....	79
4.2.1.1 Pérdida de peso (PP) .....	79
4.2.1.2 Ganancia de sólidos totales .....	81

4.2.1.3 Pérdida de agua (PA) .....	82
4.2.1.4 Ganancia de sólidos solubles (SG).....	84
4.2.2 Secado por aire caliente (fase final) .....	86
4.2.3 Curvas de secado.....	86
4.2.4 Pérdida de agua en el secado combinado en base húmeda .....	90
4.3 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS ORGANOLÉPTICAS .....	91
4.4 ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL .....	94
4.4.1 Resumen general .....	94
4.4.2 Análisis nutricional del producto final.....	95
4.4.3 Análisis sanitario del producto final .....	96
4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	96
4.5.1 Análisis de varianza univariante .....	96
4.5.1.1 Pruebas de los efectos inter-sujetos.....	97
4.6 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA .....	99
4.6.1 Balance de materia .....	99
4.6.2 Balance de energía .....	110
4.6.2.1 Balance de energía en el pelado químico.....	110
4.6.2.2 Balance de energía en el deshidratado osmótico.....	111
4.6.2.2 Balance de energía en el secado por aire caliente.....	112
4.7 COSTOS .....	114
4.7.1 Costos de investigación.....	114
4.7.1 Costos de producción.....	114

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 CONCLUSIONES .....	116
5.2 RECOMENDACIONES .....	117

### **BIBLIOGRAFÍA**

BIBLIOGRAFÍA .....	118
--------------------	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Páginas</b>
Tabla I-1. Durazno en Bolivia 2014-2015. ....	2
Tabla I-2. Municipios productores de durazno en Tarija.....	3
Tabla II-1. Composición por 100 g de porción comestible.....	7
Tabla II-2. Propiedades nutricionales del durazno.....	9
Tabla II-3. Características físicas del durazno .....	10
Tabla II-4. Características químicas del durazno .....	10
Tabla II-5. Valor energético y poder endulzante de polioles y azúcares. ....	20
Tabla II-6. Norma general para frutas deshidratadas .....	38
Tabla II-7. Norma sanitaria para frutas deshidratadas .....	39
Tabla III-1. Características físicas de la materia prima.....	46
Tabla III-2. Resultados de las propiedades físicas del durazno .....	47
Tabla III-3. Parámetros fisicoquímicos del durazno medidas en el (LOU) .....	48
Tabla III-4. Resultados de las propiedades fisicoquímicas del durazno .....	48
Tabla III-5. Factores seleccionados y niveles de operación.....	50
Tabla III-6. Diseño factorial del proceso de deshidratación por ósmosis .....	51
Tabla III-7. Aplicación de la matriz de decisión.....	54
Tabla III-8. Variables de operación óptima para el secado por aire caliente .....	56
Tabla III-9. Medición de la muestra A1 .....	66
Tabla III-10. Medición de la muestra A2.....	67
Tabla III-11. Medición de la muestra A3.....	67
Tabla III-12. Medición de la muestra A4.....	68
Tabla III-13. Secado por aire caliente de la muestra A1 .....	70

Tabla III-14. Secado por aire caliente de la muestra A2.....	70
Tabla III-15. Secado por aire caliente de la muestra A3.....	71
Tabla III-16. Secado por aire caliente de la muestra A4.....	71
Tabla III-17. Escala de calificación de las propiedades organolépticas.....	73
Tabla III-18. Puntuación a los parámetros evaluados .....	73
Tabla III-19. Muestra A1 .....	74
Tabla III-20. Muestra A2 .....	75
Tabla III-21. Muestra A3 .....	76
Tabla III-22. Muestra A4 .....	77
Tabla IV-1. Propiedades físicas del durazno.....	78
Tabla IV-2. Propiedades fisicoquímicas del durazno .....	78
Tabla IV-3. Propiedades nutricionales del durazno .....	78
Tabla IV-4. Pérdidas de peso de las muestras durante la DO .....	80
Tabla IV-5. Ganancia de los sólidos totales (ST) en los duraznos .....	81
Tabla IV-6. Pérdida de agua (PA) en los duraznos durante el DO .....	83
Tabla IV-7. Ganancia de sólidos deseables durante la DO.....	84
Tabla IV-8. Variación de humedad respecto al tiempo de la muestra A1 .....	86
Tabla IV-9. Variación de humedad respecto al tiempo de la muestra A2 .....	87
Tabla IV-10. Variación de humedad respecto al tiempo de la muestra A3 .....	88
Tabla IV-11. Variación de humedad respecto al tiempo de la muestra A4 .....	89
Tabla IV-12. Resumen de la pérdida de agua en el proceso combinado .....	90
Tabla IV-13. Resumen general de la elaboración de los orejones de durazno .....	94
Tabla IV-14. Análisis nutricional del producto final .....	95

Tabla IV-15. Análisis sanitario de los orejones de durazno.....	96
Tabla IV-16. Factores inter-sujetos.....	96
Tabla IV-17. Variable dependiente: SG.....	97
Tabla IV-18. ANOVA <sup>b</sup> para la ganancia de sólidos solubles (SG) .....	97
Tabla IV-19. Coeficientes <sup>a</sup> del modelo de regresión lineal para (SG).....	98
Tabla IV-20. Datos obtenidos del proceso de elaboración de los orejones de durazno .....	99
Tabla IV-21. Flujos operativos y sus datos de relación entre sí.....	100
Tabla IV-22. Costo estimado del proyecto .....	114
Tabla IV-23. Costo productivo para 100 kg de durazno.....	115



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
Figura 1-1. Mapa de Municipios productores de durazno en Tarija .....	3
Figura 2-1. Orejones de durazno .....	6
Figura 2-2. Planta de durazno (también llamada duraznero) .....	8
Figura 2-3. Partes del durazno .....	8
Figura 2-4. Durazno Ulincate.....	11
Figura 2-5. Diagrama de bloques para el pelado químico del durazno.....	13
Figura 2-6. Tejido de la cáscara (epidermis).....	14
Figura 2-7. Pardeamiento enzimático del durazno.....	15
Figura 2-8. Reacción de pardeamiento de la polifenoloxidasas .....	16
Figura 2-9. Transferencia de materia en el proceso de DO.....	22
Figura 2-10. Transporte pseudodifusional dependientes del gradiente de concentración .....	24
Figura 2-11. Velocidad de alteración de los alimentos en función de la ( $a_w$ ) .....	31
Figura 2-12. Transferencia de calor en un sistema .....	32
Figura 2-13. Grafica de los datos de humedad libre en función del tiempo .....	35
Figura 2-14. Diagrama de bloques de la elaboración de orejones de durazno.....	41
Figura 3-1. Cultivos de durazneros flordaking en Colonia Barredero .....	45
Figura 3-2. Diagrama de bloques para obtención de orejones de durazno .....	58
Figura 3-3. Durazno seleccionado.....	59
Figura 3-4. Inmersión del durazno en soda cáustica.....	61
Figura 3-5. Lavado y extracción de cáscara.....	62
Figura 3-6. Tiempo óptimo de neutralizado.....	62

Figura 3-7. Neutralización de la soda cáustica con ácido cítrico en el durazno .....	62
Figura 3-8. Rodajas de durazno .....	63
Figura 3-9. Tratamiento preventivo de pardeamiento con ácido cítrico .....	64
Figura 3-10. Deshidratación de las rodajas de durazno por osmosis .....	66
Figura 3-11. Eliminación de la sacarosa en la superficie del durazno .....	69
Figura 3-12. Secado por aire caliente.....	69
Figura 3-13. Orejones de durazno envasados en una bolsa de polietileno .....	72
Figura 3-14. Orejones de durazno A1 .....	74
Figura 3-15. Orejones de durazno A2.....	75
Figura 3-16. Orejones de durazno A3.....	76
Figura 3-17. Orejones de durazno A4.....	77
Figura 4-1. Pérdidas de peso vs el tiempo de deshidratación .....	80
Figura 4-2. Ganancia de sólidos totales en las muestras vs el tiempo de deshidratación .....	82
Figura 4-3. Pérdida de agua en las muestras vs el tiempo de deshidratación .....	83
Figura 4-4. Ganancia de sólidos deseables vs tiempo de deshidratación.....	85
Figura 4-5. Curva de secado de la muestra A1 .....	87
Figura 4-6. Curva de secado de la muestra A2 .....	88
Figura 4-7. Curva de secado de la muestra A3 .....	89
Figura 4-8. Curva de secado de la muestra A4 .....	90
Figura 4-9. Aceptación visual del producto final.....	91
Figura 4-10. Aceptación del olor del producto final.....	92
Figura 4-11. Aceptación del sabor del producto final.....	92
Figura 4-12. Aceptación de la textura del producto final.....	93

Figura 4-13. Grado de aceptación de los arejones de durazno.....	94
Figura 4-14. Error de los SG % medidos vs el modelo SG % .....	98
Figura 4-15. Diagrama de bloques de la obtención de orejones de durazno (para realizar el balance de materia).....	101
Figura 4-16. El pelado químico.....	110
Figura 4-17. Agitación magnética.....	111
Figura 4-18. Secado por aire caliente.....	112

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Páginas</b>
Cuadro II-1. Floración y cosecha del durazno flordaking.....	11
Cuadro II-2. Características de la fruta .....	12
Cuadro II-3. Tipos de geometría según el alimento para la reducción de tamaño.....	26
Cuadro II-4. Norma organoléptica .....	39
Cuadro III-1. Metodología usada en la matriz de decisión .....	54
Cuadro III-2. Aplicación de la velocidad del flujo de aire.....	55
Cuadro IV-1. Resumen del balance de materia: pesado, selección y lavado .....	102
Cuadro IV-2. Resumen del balance de materia: pelado químico.....	103
Cuadro IV-3. Resumen del balance de materia: cortado (rodajas), pesado .....	103
Cuadro IV-4. Resumen del balance de materia: tratamiento preventivo de pardeamiento .....	104
Cuadro IV-5. Resumen del balance de materia: inmersión en solución osmótica....	106
Cuadro IV-6. Resumen del balance de materia: drenado y lavado .....	107
Cuadro IV-7. Resumen del balance de materia: secado por aire caliente .....	108
Cuadro IV-8. Resumen del balance de materia: envasado y almacenado.....	108
Cuadro IV-9. Resumen del balance de materia.....	109
Cuadro IV-10. Resumen del balance de energía.....	113

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I: ANÁLISIS OBTENIDOS.....	
ANEXO II: TÉCNICA USADAS EN EL LABORATORIO.....	
ANEXO III: EQUIPOS DE PROCESO.....	
ANEXO IV: FICHA TÉCNICA DE LOS REACTIVOS.....	
ANEXO V: NORMA SANITARIA.....	
ANEXO VI: GALERÍA FOTOGRÁFICAS.....	

## GLOSARIO

<b>Sigla</b>	<b>Definición</b>
BL	Bristhar Laboratorios.
CNA	Censo Nacional Agropecuario de Bolivia.
DO	Deshidratado osmótica.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
FDTA de los Valles	Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario de los valles.
FIAGRO	Fundación para la innovación Tecnológica Agropecuaria.
IBL	Industria Boliviana de Liofilización.
INE	Instituto Nacional de Estadística en Bolivia.
MDRyT	Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
OP	Operaciones Preliminares.
PPO	Polifenol Oxidasa.
SV	Secado al Vacío.
SN	Secado Natural.
SL	Secado por Liofilización.
SIMA	Servicios de Información de Mercados Agropecuarios.
SAC	Secado por Aire Caliente.

## NOMENCLATURA

<b>Sigla</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidades</b>
$\Delta T$	Diferencia de temperaturas	$^{\circ}\text{C}$
$\Lambda$	Calor latente para cambio de fase	$\text{kJ/kg}$
$\eta$	Rendimiento productivo	% másico
$C_p$	Capacidad calorífica	$\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$
$H_{bs}$	Humedad libre en base seca del SAC	fracción
$m$	Masa	$g$
$P$	Presión	$\text{atm}$
$PA$	Pérdida de agua DO	% másico
$PP$	Pérdida de agua durante DO	% másico
$Q_A$	Calor absorbido	$\text{kcal o kJ}$
$Q_E$	Calor entregado	$\text{kcal o kJ}$
$Q_L$	Calor latente	$\text{kJ}$
$Q_S$	Calor sensible	$\text{kJ}$
$SG$	Ganancia de sólidos solubles DO	% másico
$ST$	Sólidos totales DO	% másico
$ST_o$	Sólidos totales de una muestra inicial	$g$
$T$	Temperatura	$^{\circ}\text{C}$
$T_m$	Tonelada métrica	$t$
$t$	Tiempo	$h$
$t_{DO}$	Tiempo de deshidratado osmótico	$h$
$t_{SAC}$	Tiempo de secado por aire caliente	$h$