

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**DESHIDRATACIÓN DE LA MANZANA POR EL MÉTODO DE  
LIOFILIZACIÓN**

**Por:**

**ROY REYNALDO VILLCA CRUZ**

**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, 2023**

**TARIJA-BOLIVIA**

**VºBº**

---

MSc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

**DECANO**

**Facultad de Ciencias y Tecnología**

---

MSc. Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre

**VICEDECANA**

**Facultad de Ciencias y Tecnología**

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

---

ING. IGNACIO EDWIN VELASQUEZ SOZA

---

ING. GUSTAVO ROMAN MORENO LÓPEZ

---

ING. ERICK RAMIREZ RUIZ

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:**

El presente trabajo está dedicado a Dios por guiarme en todo el trayecto de mi vida. A mis padres Basilio Villca Apaza y Ana Cruz Quispe por ser mi motor fundamental y por toda la confianza depositada en mí.

#### AGRADECIMIENTOS:

A mis padres y hermanos por confiar siempre en mí. A mis amigos que fueron incondicionales para mí y me acompañaron en todo el trayecto de la carrera. A todos los docentes de la Carrera de Ing. Química de la UAJMS y al Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería en Alimentos, que gracias a sus conocimientos me ayudaron durante toda mi vida universitaria.

PENSAMIENTO:

No llores porque ya se terminó, sonríe  
porque sucedió.

Gabriel García Márquez

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

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCION**

1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.2.1 Objetivo general .....	2
1.2.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Justificación del proyecto.....	3
1.3.1 Justificación tecnológica .....	3
1.3.2 Justificación económica .....	3
1.3.3 Justificación social .....	4
1.3.4 Justificación ambiental.....	4

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

2.1 Antecedentes generales .....	5
2.2 Taxonomía de la manzana variedad Princesa .....	6
2.3 Descripción botánica de la manzana variedad Princesa.....	7
2.4 Variedades de manzanas producidas en Bolivia .....	7
2.4.1 Gala .....	7
2.4.2 Royal Gala.....	8
2.4.3 Fuji .....	8
2.4.4 Princesa .....	8
2.5 Contenido nutricional de la manzana variedad Princesa.....	8

2.6	Fruta deshidratada .....	9
2.6.1	Aspectos generales .....	9
2.6.2	Deshidratación solar .....	10
2.6.4	Deshidratación osmótica .....	10
2.6.5	Deshidratado por liofilización .....	11
2.7	Descripción del proceso de liofilización .....	11
2.7.1	Velocidad de congelación .....	14
2.7.2	Flujo de calor .....	14
2.7.3	Presión de la cámara .....	14
2.7.4	Temperatura .....	14
2.8	Pardeamiento enzimático .....	15
2.9	Tratamientos previos en el deshidratado de frutas .....	15
2.9.1	Escaldado .....	16
2.9.2	Acidificado .....	16
2.9.3	Sulfatado .....	16
2.9.4	Agrietado .....	17
2.10	Índice de madurez .....	17

### **CAPÍTULO III**

#### **PARTE EXPERIMENTAL**

3.1	Caracterización de la manzana variedad Princesa .....	18
3.1.1	Parámetros físicos de la manzana de la variedad <i>Princesa</i> .....	18
3.1.2	Parámetros fisicoquímicos de la manzana variedad Princesa .....	18
3.1.3	Parámetros microbiológicos de la manzana variedad Princesa .....	19
3.2	Diseño experimental para la deshidratación por el método de liofilización ...	20
3.2.1	Diseño Factorial 2k .....	20
3.2.2	VARIABLES Y NIVELES DEL DISEÑO FACTORIAL 2 <sup>2</sup> .....	21
3.2.3	Tiempo de secado de las rodajas de manzana .....	21
3.2.4	Espesor del corte de las rodajas de manzana .....	21
3.2.4	VARIABLES DE RESPUESTA DEL DISEÑO FACTORIAL 2 <sup>2</sup> .....	22
3.3	Matriz del diseño factorial 2 <sup>2</sup> del proceso de liofilización .....	22
3.4	Equipos, instrumentos, materiales y reactivos .....	23



3.4.1	Equipos.....	23
3.4.1.1	Liofilizador Alpha 2-4 LSCBasic .....	24
3.4.2	Instrumentos de laboratorio.....	24
3.4.2.1	Balanza digital.....	24
3.4.2.2	Bureta digital .....	25
3.4.2.3	pH-metro digital .....	26
3.4.2.4	Refractómetro digital .....	26
3.4.2.5	Termobalanza digital.....	27
3.4.3	Materiales de laboratorio .....	27
3.4.4	Materiales de cocina utilizados .....	28
3.4.5	Reactivos e insumos utilizados .....	28
3.5	Descripción del proceso de liofilización de rodajas de manzana.....	29
3.6	Desarrollo del proceso experimental.....	31
3.6.1	Caracterización física de la manzana variedad <i>Princesa</i> .....	31
3.6.2	Índice de madurez de las muestras de manzana variedad <i>Princesa</i> .....	33
3.6.3	Selección .....	35
3.6.4	Lavado.....	36
3.6.5	Cortado.....	36
3.6.6	Tratamiento químico para pardeamiento enzimático.....	36
3.6.7	Ecurrido .....	36
3.6.8	Congelación de las rodajas de manzana.....	37
3.6.9	Secado primario .....	37
3.6.10	Secado secundario.....	37
3.6.11	Envasado de las rodajas de manzana liofilizadas.....	38
3.7	Balance de materia y energía en la deshidratación de rodajas de manzana ....	38
3.7.1	Balance de materia .....	40
3.7.1.1	Balance de materia en la etapa de selección .....	42
3.7.1.2	Balance en la etapa de lavado .....	43
3.7.1.3	Balance de materia en la etapa de cortado .....	44
3.7.1.4	Balance de materia en la etapa de tratamiento .....	46
3.7.1.4	Balance de materia en la etapa de escurrido de las rodajas de manzana.....	47

3.7.1.5	Balance materia en la etapa de liofilizado.....	49
3.7.2	Balance de energía en el equipo liofilizador .....	50
3.8	Evaluación sensorial de las rodajas de manzana liofilizada.....	55

## **CAPITULO IV**

### **ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS**

4.1	Resultados de los análisis de la manzana variedad <i>Princesa</i> .....	57
4.1.1	Análisis fisicoquímico de la manzana roja de la variedad <i>Princesa</i> .....	57
4.1.2	Análisis microbiológicos de la manzana variedad <i>Princesa</i> .....	58
4.2	Pretratamientos de las rodajas de manzana liofilizadas .....	58
4.3	Resultados de la deshidratación de las rodajas de manzana por liofilización. 60	
4.4	Resultados de la reducción de peso de los experimentos.....	61
4.5	Resultados de la pérdida de agua de los experimentos .....	62
4.6	Humedad de las rodajas de manzana liofilizadas.....	64
4.7	Análisis estadístico del diseño factorial 2 <sup>2</sup> .....	64
4.8	Análisis de la evaluación sensorial .....	69
4.8.1	Escala hedónica de los parámetros organolépticos .....	69
4.8.2	Análisis de varianza para el atributo color de rodajas de manzana liofilizada .....	71
4.8.3	Análisis de varianza para el atributo aroma de rodajas de manzana liofilizada .....	72
4.8.4	Análisis de varianza para el atributo textura de rodajas de manzana liofilizada.....	73
4.8.5	Análisis de varianza para el atributo apariencia de rodajas de manzana liofilizada.....	74
4.8.6	Análisis de varianza para el atributo sabor de rodajas de manzana liofilizada .....	75
4.9	Control de calidad de producto obtenido .....	76
4.9.1	Análisis fisicoquímico del producto .....	76
4.9.2	Análisis microbiológico del producto .....	77

## **CAPÍTULO**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones .....	78
5.2	Recomendaciones.....	80

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

<b>INDICE DE TABLAS</b>		<b>Página</b>
Tabla II-1	Producción mundial de manzana.....	6
Tabla II-2	Descripción taxonómica de la manzana.....	6
Tabla II-3	Valor nutricional de la manzana.....	9
Tabla III-1	Parámetro físicos de la manzana.....	18
Tabla III-2	Parámetro microbiológico de la manzana.....	19
Tabla III-3	Parámetro microbiológico de la manzana... ..	20
Tabla III-4	Niveles de variación de los factores.....	22
Tabla III-5	Simbología de las variables de control.....	22
Tabla III-6	Codificación de variables.....	23
Tabla III-7	Matriz de diseño.....	23
Tabla III-8	Materiales de laboratorio.....	28
Tabla III-9	Material de cocina.....	28
Tabla III-10	Descripción de reactivos e insumos utilizados.....	29
Tabla III-11	Valores experimentales de las características físicas.....	32
Tabla III-12	Parámetro del índice de madurez de la manzana.....	33
Tabla III-13	Datos de la composición fisicoquímica de la manzana liofilizada.....	48
Tabla III-14	Escala hedónica.....	56
Tabla IV-1	Parámetros fisicoquímicos de la manzana.....	57

Tabla IV-2	Parámetros microbiológico de la manzana.....	58
Tabla IV-3	Peso de las pruebas realizadas.....	60
Tabla IV-4	Medición de a reducción peso de las muestras .....	61
Tabla IV-5	Perdida de agua de las rodajas de manzana.....	62
Tabla IV-6	Variación de humedad en base húmeda.....	63
Tabla IV-7	Variable de diseño factorial.....	64
Tabla IV-8	Análisis de varianza para el contenido de humedad en base húmeda.....	65
Tabla IV-9	Escala de calificación por puntuación.....	69
Tabla IV-10	Resultados de la escala para cada parámetro organoléptico.....	69
Tabla IV-11	Resumen estadístico para calificación color.....	70
Tabla IV-12	Resumen estadístico Tukey para el atributo color.....	70
Tabla IV-13	Resumen estadístico para calificación aroma.....	71
Tabla IV-14	Resumen estadístico Tukey para el atributo aroma.....	71
Tabla IV-15	Resumen estadístico para calificación textura.....	72
Tabla IV-16	Resumen estadístico Tukey para el atributo textura.....	72
Tabla IV-17	Resumen estadístico para calificación apariencia.....	73
Tabla IV-18	Resumen estadístico Tukey para el atributo apariencia.....	73
Tabla IV-19	Resumen estadístico para calificación sabor.....	74
Tabla IV-20	Resumen estadístico Tukey para el atributo sabor.....	74
Tabla IV-21	Análisis fisicoquímico de la rodaja de manzana liofilizada.....	75
Tabla IV-22	Norma general para frutas deshidratadas.....	76
Tabla IV-12	Análisis microbiológico de las rodajas de manzana liofilizada.....	76

## INDICE DE FIGURAS

## Página

Figura 1-1 Producción de chuño.....	1
Figura 2-1 Plantación de manzana.....	5
Figura 2-2 Manzana roja.....	7
Figura 2-3 Material poroso de alimentos liofilizados.....	12
Figura 2-4 Diagrama del estado del agua.....	13
Figura 2-5 Esquema general del liofilizador.....	13
Figura 3-1 Liofilizador Alpha 2-4 LSCBasic.....	24
Figura 3-2 Balanza analítica.....	25
Figura 3-3 Bureta digital.....	25
Figura 3-4 pH metro digital.....	26
Figura 3-5 Refractómetro.....	26
Figura 3-6 Termobalanza.....	27
Figura 3-7 Diagrama de bloque para la obtención de manzana deshidratada mediante el método de liofilización.....	30
Figura 3-8 Índice de madurez de las veinte muestras de manzana.....	34
Figura 3-9 Balance general.....	38
Figura 3-10 Bloques de selección.....	39
Figura 3-11 Bloque de lavado.....	40
Figura 3-12 Bloque de cortado.....	41
Figura 3-13 Bloque de pretratamiento.....	41
Figura 3-14 Bloque de escurrido.....	42

Figura 3-15 Bloque de liofilizado.....	43
Figura 3-16 Etapa de secado de liofilización.....	44
Figura 3-17 Evaluaciones sensoriales.....	50
Figura 4-1 Caja y bigote de pretratamiento con ácido ascórbico.....	59
Figura 4-2 Caja y bigote de pretratamiento con ácido cítrico.....	59
Figura 4-3 Comparación de reducción de peso.....	62
Figura 4-4 Grafica de pérdida de agua.....	63
Figura 4-5 Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad.....	66
Figura 4-6 Efectos principales con relación al contenido de humedad.....	67
Figura 4-7 Interacciones de los factores con relación del contenido de humedad...	68

## ABREVIATURA

m	Masa
kg	Kilogramo
g	Gramo
mg	Miligramo
V	Volumen
l	Litro
ml	Mililitro
t	Tiempo
hra	Hora
min	Minuto
cm	Centímetro
rpm	Revoluciones por minuto
T	Temperatura
°C	Grados Centígrados
Po	Potencia
KW	KiloWatio
W	Watio
A	Amper
V	Voltio
E	Energía
Q	Calor
Cp	Calor específico

$\Delta T$	Diferencia de temperatura
%	Porcentaje
Bs	Bolivianos
KJ	Kilojoule