

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Trabajo de Grado

**ELABORACIÓN EXPERIMENTAL DE RODAJAS DE MANZANA
DESHIDRATADA (*Pyrus malus L, variedad Red delicious*) CULTIVADA EN EL
VALLE CENTRAL DE TARIJA, MEDIANTE EL MÉTODO DE
DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y TIRO FORZADO**

Por:

SERGIO SANDOVAL VARGAS

**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.**

Octubre de 2022

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Trabajo de Grado

**ELABORACIÓN EXPERIMENTAL DE RODAJAS DE MANZANA
DESHIDRATADA (*Pyrus malus L, variedad Red delicious*) CULTIVADA EN EL
VALLE CENTRAL DE TARIJA, MEDIANTE EL MÉTODO DE
DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y TIRO FORZADO**

Por:

SERGIO SANDOVAL VARGAS

**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.**

Octubre de 2022

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M. Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGIA

M. Sc. Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre
VICE DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGIA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Luis Fernando Zenteno B.

Ing. Erick Ramírez R.

Ing. Juan Pablo Herbas

DEDICATORIAS:

A mis padres, hermanos, esposa y mi hijo que me brindaron el todo su apoyo incondicional para poder concluir esta etapa de mi vida.

A todas las personas que de una u otra forma me ayudaron a lograr mi objetivo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Páginas
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Mercado internacional de las manzanas deshidratadas.....	2
1.3 Mercado nacional.....	3
1.4 Mercado a nivel regional.....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
1.6 Justificación.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Importancia de la manzana.....	7
2.1.1 Características de las manzanas en general.....	7
2.1.2 Taxonomía de la manzana.....	9
2.1.3 Variedad <i>Red delicious</i>	9
2.2 Alimentos deshidratados.....	10

2.2.1	Proceso tradicional.....	10
2.3	Descripción de métodos de deshidratado.....	11
2.3.1	Deshidratación solar.....	11
2.3.2	Deshidratado con aire caliente forzado.....	11
2.3.3	Deshidratado por liofilización.....	12
2.3.4	Deshidratación osmótica.....	12
2.4	Fenómeno de ósmosis.....	13
2.4.1	Fundamentos de la deshidratación osmótica.....	13
2.4.2	Factores que afectan a la deshidratación osmótica.....	15
2.4.2.1	Concentración de la solución.....	15
2.4.2.2	Relación de solución/alimento.....	15
2.4.2.3	Temperatura de la solución.....	15
2.4.2.4	Agitación.....	15
2.4.2.5	Tiempo de inmersión.....	15
2.4.2.6	Naturaleza y geometría del alimento.....	16
2.4.2.7	Tipo de solución osmótica.....	16
2.5	Proceso de deshidratado osmótico (DO).....	16
2.6	Tratamientos previos.....	17
2.7	Ecuaciones de cálculo en una deshidratación osmótica.....	17
2.8	Reutilización de la solución osmótica agotada.....	18
2.9	Ventajas del proceso de ósmosis.....	19
2.10	Desventajas del proceso de ósmosis.....	19
2.11	Calidad del producto final.....	19

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Caracterización de la materia prima: manzana <i>Red delicious</i>	22
3.1.1 Análisis físico de la manzana <i>Red delicious</i>	23
3.2 Desarrollo de la fase experimental.....	24
3.2.1 Variables seleccionadas para el proceso de ósmosis	24
3.2.2 Diseño factorial del proceso de deshidratación osmótica (DO).....	24
3.3 Secado por aire caliente (tiro forzado).....	27
3.4 Materiales, instrumentos de laboratorio y utensilios de cocina	28
3.4.1 Balanza analítica	28
3.4.2 Refractómetro digital	29
3.4.3 Calentador eléctrico	29
3.4.4 Agitador eléctrico.....	30
3.4.5 pH-metro digital.....	30
3.4.6 Secador infrarrojo	30
3.4.7 Anemómetro.....	31
3.4.7 Materiales de laboratorio	32
3.4.8 Utensilios de cocina	32
3.4.9 Materiales complementarios de laboratorio.....	32
3.4.10 Reactivos químicos	33
3.4.11 Insumos alimenticios.....	33
3.5 Proceso productivo.....	33
3.5.1 Descripción del proceso productivo de la manzana <i>Red delicious</i>	36
3.5.2 Selección y clasificación.....	36

3.5.3 Lavado.....	37
3.5.4 Trozado	37
3.5.5 Pesado	38
3.5.6 Tratamiento anti pardeamiento	38
3.5.7 Preparado de la solución osmótica.....	39
3.5.8 Deshidratación osmótica	39
3.5.9 Lavado y escurrido.....	40
3.5.10 Secado en secador de bandejas	41
3.5.11 Envasado	42
3.6 Características del producto final.....	42
3.6.1 Planteamiento de la evaluación sensorial de la manzana deshidratada.....	43
3.6.2 Características fisicoquímicas del producto final	45
3.6.3 Parámetros del análisis microbiológico del producto final	45

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Análisis de la manzana variedad <i>Red delicious</i>	46
4.1.1 Análisis de las propiedades físicas de la manzana <i>Red delicious</i>	46
4.1.2 Análisis de las propiedades fisicoquímicas de la manzana <i>Red delicious</i>	46
4.1.3 Análisis de la porción comestible de la manzana <i>Red delicious</i>	47
4.2 Fase experimental de la obtención de rodajas de manzana deshidratada.....	48
4.2.1 Resultados de la deshidratación osmótica de la manzana <i>Red Delicious</i>	49
4.2.1.1 Pérdida de peso	49
4.2.1.2 Ganancia de sólidos totales en las rodajas de manzana <i>Red delicious</i>	51
4.2.1.3 Pérdida de agua en las rodajas de manzana <i>Red delicious</i>	53

4.2.1.4 Ganancia de sólidos solubles en las rodajas de manzana <i>Red delicious</i>	56
4.2.2 Resultados del secado por aire caliente (tiro forzado)	57
4.2.2.1 Resultado de las curvas de secado por aire caliente [SAC]	58
4.2.3 Resumen de la pérdida de agua en las rodajas de manzana <i>Red delicious</i>	61
4.3 Análisis de las pruebas organolépticas de las rodajas de manzana deshidratada..	62
4.3.1 Resultado del análisis visual de las rodajas de manzana deshidratada	62
4.3.2 Resultado del análisis olfativo de las rodajas de manzana deshidratada	64
4.3.3 Resultado del análisis olfativo de las rodajas de manzana deshidratada	65
4.3.4 Resultado del análisis de textura de las rodajas de manzana deshidratada	66
4.3.5 Resumen de las pruebas organolépticas	67
4.4 Análisis del producto final (rodajas de manzana deshidratada)	68
4.4.1 Análisis fisicoquímico de las rodajas de manzana deshidratadas	69
4.4.2 Análisis sanitario de las rodajas de manzana deshidratada	70
4.5 Análisis estadístico del diseño experimental	70
4.5.1 Pruebas de los efectos inter-factores	71
4.6 Balance de materia y energía	75
4.6.1 Balance de materia para el proceso de deshidratación de rodajas de manzana <i>Red delicious</i>	75
4.6.2 Balance de energía	90
4.6.2.1 Balance de energía en el deshidratado osmótico	90
4.6.2.2 Balance de energía en el secador por tiro forzado para las rodajas de manzana <i>Red delicious</i>	93
4.7 Costo del proyecto de rodajas de manzana deshidratada	98
4.7.1 Costos de investigación	98

4.7.2 Costos de producción	99
----------------------------------	----

CAPÍTULO V

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

5.1 Conclusiones	101
------------------------	-----

5.2 Recomendaciones.....	102
--------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía.....	102
-------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla I-1. Exportación e importación de frutos secos.....	3
Tabla I-2. Producción de manzana en Tarija	4
Tabla II-1 Composición nutricional de la manzana	8
Tabla II-2. Temperaturas máximas de secado y humedades.....	17
Tabla II-3. Norma general para frutas deshidratadas	20
Tabla II-4. Norma sanitaria para frutas deshidratadas	21
Tabla III-1. Propiedades físicas de la manzana Red delicious.....	23
Tabla III-2. Factores seleccionados y niveles de operación.....	25
Tabla III-3. Diseño factorial del proceso de deshidratación por ósmosis	26
Tabla III-4. Diseño experimental del proceso de deshidratación por ósmosis	26
Tabla III-5. Materiales de laboratorio	32
Tabla III-6. Utensilios de cocina.....	32
Tabla III-7. Materiales complementarios de laboratorio.....	33
Tabla III-8. Reactivos químicos.....	33
Tabla III-9. Insumos alimenticios	33
Tabla III-10. Escala de calificación de las propiedades organolépticas.....	44
Tabla III-11. Puntuación a los parámetros evaluados	44
Tabla III-12. Parámetros del análisis físico-químico del producto final.....	45
Tabla III-13. Características microbiológicas del producto final.....	45
Tabla IV-1. Resumen de las propiedades físicas de la manzana Red delicious.....	46
Tabla IV-2. Propiedades fisicoquímicas de la manzana Red Delicious.....	47
Tabla IV-3. Pérdidas de peso vs el tiempo de deshidratación y temperatura	50
Tabla IV-4. Ganancia de los sólidos totales en las rodajas de manzana osmohidratadas	52
Tabla IV-5. Pérdida de agua en las rodajas de manzanas durante el deshidratado osmótico	54
Tabla IV-6. Ganancia de sólidos solubles por las rodajas de manzana Red delious durante la deshidratación osmótica.	56

Tabla IV-7. Variación de humedad respecto al tiempo de secado por aire caliente de la muestra MD1	59
Tabla IV-8. Resumen de la pérdida de agua en el proceso combinado	61
Tabla IV-9. Escala de calificación de las propiedades organolépticas	62
Tabla IV-10. Puntuación tope a los parámetros visual evaluados	63
Tabla IV-11. Puntuación tope al parámetro olfativo evaluado	64
Tabla IV-12. Puntuación tope a los parámetros del sabor evaluados	65
Tabla IV-13. Puntuación tope a los parámetros olfativo evaluados.....	66
Tabla IV-14. Resumen general de las rodajas de manzana deshidratadas	68
Tabla IV-15. Análisis fisicoquímico de las rodajas de manzana deshidratada	69
Tabla IV-16. Análisis sanitario de las rodajas de manzana deshidratada	70
Tabla IV-17. Inter-factores.....	71
Tabla IV-18. Análisis de varianza del diseño factorial de la deshidratación osmótica de las rodajas de manzana	72
Tabla IV-19. Análisis de varianza de la variable respuesta: Pérdida de agua.....	73
Tabla IV-20. Coeficientes de regresión lineal del modelo corregido	73
Tabla IV-21. Datos estadísticos de la pérdida de agua de las rodajas de manzana en el deshidratado osmótico.....	74
Tabla IV-22. Datos obtenidos del proceso de elaboración de la muestra MD2.....	76
Tabla IV-23. Flujos operativos y sus datos de relación entre sí, de la muestra MD2 del proceso productivo	78
Tabla IV-24. Datos de las propiedades fisicoquímicas de la muestra MD2	90
Tabla IV-25. Datos relevantes del flujo de aire caliente en el secador por tiro forzado medidos y referenciales.....	93
Tabla IV-26. Propiedades del aire caliente	94
Tabla IV-27. Costo estimado del proyecto de investigación de las rodajas de manzana deshidratadas	98
Tabla IV-28. Costo productivo para 100 kg de manzana Red delicious	99

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1-1. Principales importadores de frutas deshidratadas en el mundo 2016.....	2
Figura 1-2. Importaciones de frutos secos	4
Figura 2-1. Transferencia de materia en el proceso de deshidratado osmótico	13
Figura 2-2. Diagrama de los fenómenos de transferencia de masa que ocurren en las células de los alimentos durante la deshidratación osmótica.	15
Figura 3-1. Manzana Red delicious.	22
Figura 3-2. Balanza analítica digital	28
Figura 3-3. Refractómetro digital.....	29
Figura 3-4. Calentador eléctrico.....	29
Figura 3-5. Agitador eléctrico	30
Figura 3-6. pH metro digital.....	30
Figura 3-7. Secador infrarrojo.....	31
Figura 3-8. Anemómetro.....	31
Figura 3-9. Descripción de las etapas del proceso tecnológico del deshidratado de rodajas de manzana <i>Red delicious</i>	34
Figura 3-10. Selección y clasificación de las manzanas	36
Figura 3-11. Trozado de las manzanas <i>Red delicious</i>	37
Figura 3-12. Pesado de las rodajas de manzana	38
Figura 3-13. Deshidratado osmótico de las manzanas <i>Red delicious</i>	40
Figura 3-14. Filtrado de las rodajas de manzana deshidratada	41
Figura 3-15. Secado en secador de bandejas.....	42
Figura 3-16. Rodajas de manzana deshidratada <i>Red delicious</i>	43
Figura 4-1. Porción comestible de la manzana <i>Red delicious</i>	48
Figura 4-2. Pérdidas de peso vs el tiempo de deshidratación	51
Figura 4-3. Ganancia de sólidos totales vs el tiempo de deshidratación osmótica.	53
Figura 4-4. Pérdida de agua en las muestras vs el tiempo de deshidratación	55
Figura 4-5. Ganancia de sólidos deseables vs tiempo de deshidratación.....	57

Figura 4-6. Curvas de secado por aire caliente de las 8 muestras estudiadas	60
Figura 4-7. Aceptación visual del producto final.....	63
Figura 4-8. Aceptación del olor del producto final	64
Figura 4-9. Aceptación del sabor del producto final.....	66
Figura 4-10. Aceptación de la textura del producto final.....	67
Figura 4-11. Grado de aceptación de las rodajas de manzana deshidratadas.....	68
Figura 4-12. Error de PA % medidos vs el modelo PA %	75
Figura 4-13. Diagrama de bloques de la obtención de rodajas de manzana deshidratada.....	77
Figura 4-14. Balance de materia: Recepción y selección	79
Figura 4-15. Resumen del balance de materia: lavado	79
Figura 4-16. Balance de materia: cortado, pesado de la manzana	80
Figura 4-17. Balance de materia: tratamiento contra el pardeamiento	81
Figura 4-18. balance de materia: inmersión en solución osmótica	81
Figura 4-19. Balance de materia: lavado y escurrido.....	84
Figura 4-20. Balance de materia: secado por aire caliente.....	85
Figura 4-21. Balance de materia: envasado y almacenado	88
Figura 4-22. Resumen del balance de materia de las rodajas de manzana deshidratada	89
Figura 4-24. Agitación eléctrica.....	92
Figura 4-25. Secado por aire caliente.....	95