

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LIOFILIZACIÓN A NIVEL
EXPERIMENTAL PARA LA OBTENCIÓN DE RODAJAS
DESHIDRATADAS DE MANZANA VERDE**

POR:

NAHUEL MAMANI MALLEA

Trabajo final de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

AGOSTO, 2022

TARIJA – BOLIVIA

PENSAMIENTO

“En la medida en que todos estamos educados e informados, estaremos más preparados para hacer frente a los problemas que pueden dividirnos”.

(Caroline Kennedy)

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida y salud, también por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante en mi vida. Además, por ser mi apoyo y fortaleza en todo momento.

A mi familia, por su tiempo, amor, cariño, paciencia, esfuerzo y apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme acompañado y guiado en mi formación académica, por ser mi apoyo y fortaleza en los momentos difíciles y por darme la sabiduría para realizar este trabajo.

A mi familia por su amor, cariño, paciencia y apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

A todos mis docentes de la carrera de Ingeniería de Alimentos por sus enseñanzas, consejos y conocimientos impartidos a lo largo de mi formación profesional.

Al Ing. Erick Ramírez por su asesoría, consejos y recomendaciones durante la realización del presente trabajo.

Al Ing. Weimar Torrejón e Ing. Luis Fernando Zenteno por sus enseñanzas, consejos y recomendaciones a lo largo de mi formación universitaria.

A mis amigos y compañeros: Lidio, Joel, Claudia y Shirley por brindarme su amistad, consejos valiosos y motivarme a seguir adelante.

A mi gran amiga Ing. Ximena Mendoza por brindarme su valiosa amistad, por apoyarme y motivarme en todo momento durante la realización de este trabajo.

ÍNDICE

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
1.4	Planteamiento del problema.....	4
1.5	Objeto de estudio.....	4
1.6	Campo de acción.....	4
1.7	Formulación del problema.....	5
1.8	Hipótesis.....	5

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Origen de los productos liofilizados.....	6
2.2	Definición de producto deshidratado y liofilizado.....	6
2.3	Clasificación de los productos liofilizados.....	6
2.4	Composición fisicoquímica de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	7
2.5	Propiedades nutricionales de los productos liofilizados.....	7
2.6	Caracterización de la manzana en general.....	8
2.6.1	Características botánicas del manzano en general.....	8
2.6.2	Composición fisicoquímica y propiedades nutricionales de la manzana.....	9
2.7	Caracterización de los reactivos utilizados en el presente trabajo de investigación.....	10
2.7.1	Ácido cítrico.....	10
2.7.2	Ácido ascórbico.....	10
2.8	Proceso de liofilización.....	11

2.9	Clasificación de la liofilización.....	11
2.10	Etapas del proceso de liofilización.....	11
2.10.1	Etapas de congelación en el proceso de liofilización.....	13
2.10.2	Etapas de secado primario o sublimación del hielo en el proceso de liofilización.....	14
2.10.3	Etapas de secado secundario o eliminación del agua en el proceso de liofilización.....	14

CAPÍTULO III DISEÑO METODOLÓGICO

3.1	Desarrollo de la parte experimental.....	15
3.2	Tipo de intervención.....	15
3.3	Paradigma investigativo.....	15
3.4	Enfoque de la investigación.....	16
3.5	Métodos, técnicas e instrumentos.....	16
3.5.1	Análisis físicos de la manzana verde.....	17
3.5.2	Análisis fisicoquímicos de la manzana verde.....	17
3.5.3	Análisis microbiológicos de la manzana verde.....	18
3.5.4	Análisis fisicoquímicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	19
3.5.5	Análisis microbiológicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	19
3.6	Equipos, instrumentos de laboratorio y utensilios de cocina.....	20
3.6.1	Equipos.....	20
3.6.2	Instrumentos de laboratorio.....	21
3.6.3	Utensilios de cocina.....	21
3.7	Diagrama de flujo del proceso de liofilización para las rodajas de manzana verde.....	22
3.8	Descripción del diagrama de flujo para el proceso de liofilización.....	22
3.8.1	Manzana verde.....	22
3.8.2	Lavado.....	23
3.8.3	Acondicionamiento.....	23

3.8.4	Cortado.....	24
3.8.5	Tratamiento químico.....	24
3.8.6	Liofilizado.....	25
3.8.7	Envasado y almacenamiento.....	26
3.9	Operacionalización de las variables para el proceso de liofilización.....	26
3.10	Evaluación sensorial.....	28
3.11	Diseño experimental.....	28
3.11.1	Diseño factorial 2^k	29
3.11.2	Diseño factorial 2^2 en el proceso de liofilización.....	29

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1	Caracterización de la manzana verde.....	31
4.1.1	Propiedades físicas de la manzana verde.....	31
4.1.2	Análisis fisicoquímico de la manzana verde.....	32
4.1.3	Análisis de minerales de la manzana verde.....	32
4.1.4	Análisis microbiológico de la manzana verde.....	33
4.2	Caracterización de las variables del proceso para la obtención de rodajas deshidratadas de manzana verde por liofilización.....	33
4.2.1	Clasificación de las pruebas preliminares para determinar el tratamiento químico de las muestras de manzana verde.....	34
4.2.1.1	Pruebas preliminares para determinar el tratamiento químico con ácido ascórbico.....	35
4.2.1.2	Pruebas preliminares para determinar el tratamiento químico con ácido cítrico.....	35
4.2.2	Evaluación sensorial de las muestras preliminares para elegir el tratamiento químico.....	35
4.2.2.1	Diagrama de caja y bigote para elegir el tratamiento químico de las muestras preliminares.....	36
4.2.2.2	Análisis de varianza para el atributo apariencia en las muestras preliminares.....	37
4.2.2.3	Prueba de Tukey para el atributo apariencia en las muestras preliminares.....	37

4.2.2.4	Análisis de varianza para el atributo aroma en las muestras preliminares.....	38
4.2.2.5	Prueba de Tukey para el atributo aroma en las muestras preliminares....	38
4.2.2.6	Análisis de varianza para el atributo color en las muestras preliminares.....	38
4.2.2.7	Prueba de Tukey para el atributo color en las muestras preliminares.....	39
4.3	Diseño factorial 2 ² en el proceso de liofilización para la obtención de rodajas deshidratadas de manzana verde.....	39
4.3.1	Análisis de varianza para la variable respuesta de contenido de humedad en el proceso de liofilización.....	39
4.3.2	Evaluación sensorial de las muestras del diseño experimental.....	42
4.3.2.1	Diagrama de caja y bigote para las muestras del diseño experimental....	43
4.3.2.2	Análisis de varianza para el atributo color en las muestras del diseño experimental.....	44
4.3.2.3	Prueba de Tukey para el atributo color en las muestras del diseño experimental.....	44
4.3.2.4	Análisis de varianza para el atributo presentación en las muestras del diseño experimental.....	44
4.3.2.5	Prueba de Tukey para el atributo presentación en las muestras del diseño experimental.....	45
4.3.2.6	Elección de la muestra final del diseño experimental.....	45
4.4	Caracterización de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	46
4.4.1	Análisis fisicoquímico de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	46
4.4.2	Análisis de minerales de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	47
4.4.3	Análisis microbiológico de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	47
4.5	Balance de materia en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	48
4.5.1	Balance de materia en la etapa de lavado.....	50
4.5.2	Balance de materia en la etapa de acondicionamiento.....	51
4.5.3	Balance de materia en la etapa de cortado.....	52

4.5.4	Balance de materia en la etapa de tratamiento químico.....	52
4.5.5	Balance de materia en la etapa de liofilizado.....	54
4.5.6	Resumen general del balance de materia en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	55
4.6	Balance de energía en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	57
4.6.1	Balance de energía en el proceso de liofilización.....	58

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	60
5.2	Recomendaciones.....	61

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Producción, superficie y rendimiento de las diferentes variedades de manzana.....	2
Tabla 2.1	Clasificación de los productos liofilizados.....	7
Tabla 2.2	Composición fisicoquímica de la manzana verde en polvo liofilizada.....	7
Tabla 2.3	Características botánicas del manzano en general.....	9
Tabla 2.4	Composición fisicoquímica y propiedades nutricionales de la manzana verde.....	9
Tabla 3.1	Operacionalización de las variables para el proceso de liofilización.....	27
Tabla 3.2	Niveles de variación de las variables en el proceso de liofilización.....	30
Tabla 3.3	Matriz de variables para el proceso de liofilización.....	30
Tabla 4.1	Propiedades físicas de la manzana verde.....	31
Tabla 4.2	Análisis fisicoquímico de la manzana verde.....	32
Tabla 4.3	Análisis de minerales de la manzana verde.....	33
Tabla 4.4	Análisis microbiológico de la manzana verde.....	33
Tabla 4.5	Soluciones preparadas con ácido ascórbico.....	35
Tabla 4.6	Soluciones preparadas con ácido cítrico.....	35
Tabla 4.7	Prueba de Tukey para el atributo apariencia.....	37
Tabla 4.8	Prueba de Tukey para el atributo aroma.....	38
Tabla 4.9	Prueba de Tukey para el atributo color.....	39
Tabla 4.10	Análisis de varianza para la variable respuesta de contenido de humedad.....	40
Tabla 4.11	Muestras del diseño experimental.....	42
Tabla 4.12	Prueba de Tukey para el atributo color.....	44
Tabla 4.13	Prueba de Tukey para el atributo presentación.....	45
Tabla 4.14	Análisis fisicoquímico de las rodajas liofilizadas de manzana verde.....	46
Tabla 4.15	Análisis de minerales de las rodajas liofilizadas de manzana verde.....	47

Tabla 4.16	Análisis microbiológico de las rodajas liofilizadas de manzana verde.....	47
Tabla 4.17	Capacidades caloríficas y punto de congelación de la manzana verde.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Propiedades nutricionales de los productos liofilizados.....	8
Figura 2.2	Pasos del proceso de liofilización.....	12
Figura 2.3	Diagrama de fases del agua y sistemas de secado.....	12
Figura 3.1	Métodos y técnicas utilizadas para los análisis físicos de la manzana verde.....	17
Figura 3.2	Métodos y técnicas utilizadas para los análisis fisicoquímicos de la manzana verde.....	18
Figura 3.3	Métodos y técnicas utilizadas para los análisis microbiológicos de la manzana verde.....	18
Figura 3.4	Métodos y técnicas utilizadas para los análisis fisicoquímicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	19
Figura 3.5	Métodos y técnicas utilizadas para los análisis microbiológicos de las rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde....	20
Figura 3.6	Descripción de equipos.....	20
Figura 3.7	Descripción de los instrumentos de laboratorio.....	21
Figura 3.8	Descripción de los utensilios de cocina.....	21
Figura 3.9	Diagrama de flujo del proceso de liofilización para las rodajas de manzana verde.....	22
Figura 3.10	Venta de manzanas en el Mercado Campesino y exposición de las manzanas verdes.....	23
Figura 3.11	Lavado de la manzana verde.....	23
Figura 3.12	Acondicionamiento de la manzana verde.....	24
Figura 3.13	Cortado de la manzana verde.....	24
Figura 3.14	Preparación de la solución para el tratamiento químico y sumergimiento de las rodajas de manzana en la solución.....	25
Figura 3.15	Ecurrido de las rodajas de manzana verde.....	25
Figura 3.16	Proceso de liofilización de la manzana verde.....	26
Figura 3.17	Envasado de las rodajas deshidratadas de manzana verde.....	26
Figura 3.18	Evaluaciones sensoriales realizadas en la obtención de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	28
Figura 4.1	Pruebas preliminares para determinar el tratamiento químico.....	34

Figura 4.2	Caja y bigote para elegir el tratamiento químico de muestras preliminares.....	36
Figura 4.3	Efectos principales con relación al contenido de humedad.....	41
Figura 4.4	Diagrama de Pareto estandarizada para contenido de humedad.....	42
Figura 4.5	Caja y bigote para las muestras del diseño experimental.....	43
Figura 4.6	Gráfica de torta para elegir la muestra final.....	46
Figura 4.7	Balance de materia en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas por liofilización de manzana verde.....	48
Figura 4.8	Etapa de lavado de la manzana verde.....	50
Figura 4.9	Etapa de acondicionamiento de la manzana verde.....	51
Figura 4.10	Etapa de cortado de la manzana verde.....	52
Figura 4.11	Etapa de tratamiento químico de las rodajas de manzana verde.....	53
Figura 4.12	Etapa de liofilizado de las rodajas de manzana verde.....	54
Figura 4.13	Resumen general del balance de materia en el proceso de liofilización de las rodajas deshidratadas de manzana verde.....	56
Figura 4.14	Etapa de congelación y subenfriamiento en el proceso de liofilización.....	58