

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS



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

POR:

CLAUDIA DAIANA ARMELLA APARICIO

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.

NOVIEMBRE, 2022

TARIJA – BOLIVIA

V.B.

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

.....
M.Sc. Lic. Gustavo Succi Aguirre
VICEDECANO
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

.....
Ing. Jesús Zamora Gutiérrez
DIRECTOR
DPTO. DE BIOTECNOLOGÍA Y
CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS

.....
Ing. Valentín Trigo Dimitrov
DOCENTE GUÍA

.....
Ing. Luis Fernando Zenteno Benítez
TRIBUNAL CALIFICADOR

.....
M.Sc. Ing. Erick Ramírez Ruíz
TRIBUNAL CALIFICADOR

.....
Ing. Weimar Torrejón Aguirre
TRIBUNAL CALIFICADOR

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

PENSAMIENTO

“Pon todo lo que hagas en manos del Señor, y tus planes tendrán éxito”.

Proverbios 16:3

DEDICATORIA

A Dios por darme vida, salud y fortaleza para culminar la carrera universitaria

A mi padre Alejandro Armella por su amor, paciencia, esfuerzo y sacrificio incondicional que me brindo todos estos años de formación académica.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por acompañarme en todo el transcurso de mi vida y ser mi apoyo y fortaleza en todo tiempo.

A mis padres y hermanos por su amor, paciencia y apoyo incondicional en el transcurso de mi vida universitaria.

A mis docentes de la carrera de Ingeniería de Alimentos por sus enseñanzas, consejos y conocimientos impartidos a lo largo de mi formación profesional, en especial a mis tribunales: Ing. Erick Ramírez, Ing. Luis Fernando Zenteno e Ing. Weimar Torrejón por haberme brindado su conocimiento y ayuda para la culminación del presente trabajo de investigación.

A mis compañeros y amigos de la carrera: Nahuel, Carla y Eva; por brindarme su amistad y ayuda en todo momento.

A mis mejores amigos Ruth y Cristhian por brindarme su amistad, apoyo y motivación en todo momento.

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 liofilizado.....	6
2.3	Clasificación de los productos liofilizados.....	7
2.4	Características nutricionales de las frutas liofilizadas.....	7
2.5	Composición nutricional de la frutilla liofilizada.....	8
2.6	Caracterización botánicas de la frutilla.....	8
2.6.1	Descripción botánica de la frutilla.....	8
2.6.2	Variedades de frutilla.....	9
2.6.2.1	Variedad San Andreas.....	10
2.7	Composición fisicoquímica y nutricional de la frutilla.....	10
2.8	Beneficios de la frutilla para la salud.....	11
2.9	Definición de conservación.....	12
2.9.1	Métodos de conservación de alimentos.....	12

2.10	La liofilización.....	12
2.10.1	Principios termodinámicos.....	13
2.10.2	Etapas del proceso.....	15
2.10.2.1	Acondicionamiento.....	16
2.10.2.2	Congelación.....	16
2.10.2.3	Desecación primaria del producto.....	17
2.10.2.4	Desecación secundaria del producto.....	18
2.10.3	Ventajas y desventajas del proceso de liofilización.....	18
2.11	Rehidratación de los productos deshidratados.....	19

CAPÍTULO III DISEÑO METODOLÓGICO

3.1	Desarrollo de la parte experimental.....	24
3.2	Tipo de intervención.....	24
3.3	Paradigma investigativo.....	24
3.4	Enfoque de investigación.....	25
3.5	Métodos, técnicas e instrumentos.....	25
3.5.1	Análisis físico de la frutilla variedad San Andreas.....	26
3.5.2	Análisis fisicoquímico de la frutilla variedad San Andreas.....	26
3.5.3	Análisis microbiológico de la frutilla variedad San Andreas.....	27
3.5.4	Análisis fisicoquímico de las rodajas de frutilla liofilizada variedad San Andreas.....	28
3.5.5	Análisis microbiológico de las rodajas de frutilla liofilizadas variedad San Andreas.....	28
3.5.6	Análisis de rehidratación de las rodajas de frutilla liofilizadas variedad San Andreas.....	29
3.6	Equipos, instrumentos de laboratorio y utensilios de cocina.....	30
3.6.1	Equipos.....	30
3.6.2	Instrumentos de laboratorio.....	30
3.6.3	Utensilios de cocina y material de laboratorio.....	32

3.7	Proceso de liofilización de rodajas de frutilla variedad San Andreas.....	32
3.8	Descripción del proceso de liofilización de rodajas de frutilla variedad San Andreas.....	33
3.8.1	Frutilla.....	34
3.8.2	Seleccionado.....	34
3.8.3	Lavado.....	34
3.8.4	Oreado.....	35
3.8.5	Acondicionamiento.....	36
3.8.6	Cortado.....	36
3.8.7	Liofilizado.....	37
3.8.8	Envasado.....	37
3.8.9	Almacenado.....	38
3.9	Operalización de variables en la obtención de rodajas de frutilla liofilizada.....	38
3.10	Evaluación sensorial.....	40
3.11	Diseño experimental.....	40
3.11.1	Diseño factorial 2^k	41
3.11.2	Diseño factorial 2^2 en el proceso de liofilización.....	41

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1	Caracterización de las propiedades de la frutilla variedad San Andreas.....	43
4.1.1	Propiedades físicas de la frutilla variedad San Andreas.....	43
4.1.2	Análisis fisicoquímico de la frutilla variedad San Andreas.....	44
4.1.3	Análisis de minerales de la frutilla variedad San Andreas.....	44
4.1.4	Análisis microbiológico de la frutilla variedad San Andreas.....	45
4.2	Caracterización de las variables del proceso para la obtención de rodajas de frutilla liofilizadas variedad San Andreas.....	45
4.2.1	Clasificación de las pruebas preliminares para determinar tipo de corte de frutilla variedad San Andreas.....	46

4.2.2	Evaluación sensorial de las muestras preliminares para elegir el tipo de corte.....	47
4.2.2.1	Diagrama de caja y bigote para elegir el tipo de corte de las muestras preliminares de frutilla liofilizada.....	47
4.2.2.2	Prueba de Tukey para el atributo apariencia en las pruebas preliminares.....	48
4.2.2.3	Prueba de Tukey para el atributo color en las pruebas preliminares.	48
4.2.2.4	Prueba de Tukey para el atributo sabor en las pruebas preliminares	49
4.2.2.5	Prueba de Tukey para el atributo olor en las pruebas preliminares...	49
4.2.2.6	Prueba de Tukey para el atributo textura en las pruebas preliminares.....	50
4.3	Diseño factorial 2 ² en el proceso de liofilización de frutilla variedad San Andreas.....	50
4.3.1	Análisis de varianza para la variable respuesta contenido de humedad en base húmeda en el proceso de liofilización.....	51
4.3.2	Evaluación sensorial de las muestras del diseño experimental.....	53
4.3.2.1	Diagrama de caja y bigote para las dos muestras del diseño experimental en sus niveles alto y bajo.....	54
4.3.2.2	Prueba de Tukey para el atributo apariencia de las muestras del diseño experimental.....	55
4.3.2.3	Prueba de Tukey para el atributo color de las muestras del diseño experimental.....	55
4.4	Caracterización de las propiedades de las rodajas de frutilla liofilizadas.....	56
4.4.1	Análisis fisicoquímico de las rodajas de frutilla liofilizada.....	56
4.4.2	Análisis de minerales de las rodajas de frutilla liofilizadas.....	56
4.4.3	Análisis microbiológico de las rodajas de frutilla liofilizadas.....	57
4.4.4	Análisis de rehidratación de las rodajas de frutilla liofilizadas.....	57
4.5	Balance de materia en el proceso de obtención de rodajas de frutilla liofilizadas.....	59
4.5.1	Balance de materia en la etapa de seleccionado.....	61
4.5.2	Balance de materia en la etapa de lavado.....	62
4.5.3	Balance de materia en la etapa de oreado.....	64

4.5.4	Balance de materia en la etapa de acondicionamiento.....	65
4.5.5	Balance de materia en la etapa de cortado.....	66
4.5.6	Balance de materia en la etapa de liofilizado.....	67
4.5.7	Resumen general del balance de materia en el proceso liofilización de rodajas de frutilla.....	68
4.6	Balance de energía en el proceso de liofilización de rodajas de frutilla variedad San Andreas.....	69
4.6.1	Balance de energía en el proceso de liofilización.....	71
4.7	Cálculo del consumo de energía eléctrica en la etapa de liofilización de frutilla.....	76

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	79
5.2	Recomendaciones.....	81

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Países con mayor producción de frutilla a nivel mundial.....	1
Tabla 1.2	Producción de frutilla en Bolivia.....	1
Tabla 2.1	Clasificación de los productos liofilizados.....	7
Tabla 2.2	Información nutricional de un snack de frutilla liofilizada.....	8
Tabla 2.3	Composición nutricional de la frutilla.....	11
Tabla 2.4	Velocidades de congelación de los alimentos.....	17
Tabla 3.1	Operalización de variables en la liofilización de rodajas de frutilla variedad San Andreas.....	39
Tabla 3.2	Niveles de variación de las variables en el proceso de liofilización.....	42
Tabla 3.3	Matriz de variables para el proceso de liofilización.....	42
Tabla 4.1	Propiedades físicas de la frutilla variedad San Andreas.....	43
Tabla 4.2	Análisis fisicoquímico de la frutilla variedad San Andreas.....	44
Tabla 4.3	Análisis de minerales de la frutilla variedad San Andreas.....	45
Tabla 4.4	Análisis microbiológico de la frutilla variedad San Andreas.....	45
Tabla 4.5	Prueba de Tukey para el atributo apariencia.....	48
Tabla 4.6	Prueba de Tukey para el atributo color.....	48
Tabla 4.7	Prueba de Tukey para el atributo sabor.....	49
Tabla 4.8	Prueba de Tukey para el atributo olor.....	49
Tabla 4.9	Prueba de Tukey para el atributo textura.....	50
Tabla 4.10	Análisis de Varianza para el contenido de humedad.....	51
Tabla 4.11	Diseño experimental aplicado a las rodajas de frutilla liofilizadas.....	53
Tabla 4.12	Prueba de Tukey para el atributo apariencia.....	55
Tabla 4.13	Prueba de Tukey para el atributo color.....	55
Tabla 4.14	Análisis fisicoquímico de las rodajas de frutilla liofilizadas.....	56
Tabla 4.15	Análisis de minerales de las rodajas de frutilla liofilizada.....	57
Tabla 4.16	Análisis microbiológico de las rodajas de frutilla liofiizada.....	57

Tabla 4.17	Indices de calidad de rehidratación de las rodajas de frutilla liofilizada.....	58
Tabla 4.18	Datos de composición fisicoquímica de la frutilla.....	73
Tabla 4.19	Ecuaciones y cálculo del calor específico de la frutilla a -40°C ..	75
Tabla 4.20	Tiempo de uso de los equipos en la etapa de liofilización.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Variedades de frutilla de acuerdo a sus clasificación.....	9
Figura 2.2	Métodos físicos de conservación de alimentos mediante eliminación de agua.....	12
Figura 2.3	Diagrama de cambio de fase del agua	14
Figura 2.4	Pasos del proceso de liofilización.....	15
Figura 2.5	Diagrama de fases del agua y sistemas de secado.....	15
Figura 2.6	Ventajas y desventajas del proceso de liofilización.....	18
Figura 2.7	Transferencia de materia durante la rehidratación de un producto deshidratado.....	20
Figura 2.8	Indices de rehidratación.....	21
Figura 2.9	Factores extrínsecos en la rehidratación.....	22
Figura 2.10	Factores intrínsecos en la rehidratación.....	22
Figura 3.1	Métodos y técnicas utilizadas el análisis físico de la frutilla.....	26
Figura 3.2	Métodos y técnicas utilizadas el análisis fisicoquímico de la frutilla.....	27
Figura 3.3	Métodos y técnicas utilizadas el análisis microbiológico de la frutilla.....	27
Figura 3.4	Métodos y técnicas utilizadas el análisis fisicoquímico de las rodajas de frutilla liofilizadas.....	28
Figura 3.5	Métodos y técnicas utilizadas el análisis microbiológico de las rodajas de frutilla liofilizada.....	29
Figura 3.6	Métodos y técnicas utilizadas utilizadas en la rehidratación de las rodajas de frutilla liofilizadas.....	29
Figura 3.7	Descripción de equipos.....	30
Figura 3.8	Descripción de instrumentos.....	31
Figura 3.9	Descripción de los utensilios de cocina y material de laboratorio..	32
Figura 3.10	Proceso de liofilización de rodajas de frutilla variedad San Andreas a nivel experimental.....	33
Figura 3.11	Frutilla variedad San Andreas.....	34
Figura 3.12	Lavado de la frutilla.....	35
Figura 3.13	Oreado de la frutilla lavada.....	35

Figura 3.14	Acondicionado de la frutilla.....	36
Figura 3.15	Cortado de la frutilla.....	36
Figura 3.16	Proceso de liofilización de las rodajas de frutilla.....	37
Figura 3.17	Envasado de las rodajas de frutilla liofilizada.....	38
Figura 3.18	Evaluaciones sensoriales realizadas en la obtención de rodajas de frutilla liofilizada.....	40
Figura 4.1	Pruebas realizadas en la obtención de rodajas de frutilla liofilizadas a nivel experimental.....	46
Figura 4.2	Caja y bigotes para elegir el tipo de corte de las muestras preliminares de muestras de frutilla liofilizada	47
Figura 4.3	Efectos principales para el contenido de humedad.....	52
Figura 4.4	Diagrama de Pareto estandarizado en función del contenido de humedad.....	53
Figura 4.5	Caja y bigotes de las muestras de frutilla en rodajas liofilizadas del diseño experimental.....	54
Figura 4.6	Balance de materia en el proceso de liofilización de rodajas de frutilla variedad San Andreas.....	59
Figura 4.7	Balance de materia en la etapa de seleccionado.....	61
Figura 4.8	Balance de materia en la etapa de lavado.....	62
Figura 4.9	Balance de materia en la etapa de oreado.....	64
Figura 4.10	Balance de materia en la etapa de acondicionado.....	65
Figura 4.11	Balance de materia en la etapa de cortado.....	66
Figura 4.12	Balance de materia en la etapa de liofilizado.....	67
Figura 4.13	Balance general del proceso de liofilización de rodajas de frutilla variedad San Andreas.....	69
Figura 4.14	Etapa de enfriamiento, congelación y subenfriamiento en el proceso de liofilización.....	72