

**UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL
SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**OBTENCIÓN DE RODAJAS DESHIDRATADAS DE
YACÓN MEDIANTE EL PROCESO DE
LIOFILIZACIÓN**

POR:

EVA SUSANA RAMOS PEREIRA

Trabajo final de grado presentado a consideración de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, como requisito para optar el grado académico de licenciatura de ingeniería de Alimentos.

DICIEMBRE, 2022

TARIJA – BOLIVIA

Dedicatoria

El presente trabajo de grado va dedicado principalmente:

A Dios por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Bernardo Ramos y Arcaria Pereira por ser el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida, les dedico a ustedes este logro amados padres, como una meta más conquistada.

A mis hermanas Mabel, Verónica y Elisa por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis sobrinos Bekor y Thiago por llenar mis días de alegría.

Resumen

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	Objeto de estudio.....	3
1.5	Campo de acción.....	4
1.6	Planteamiento del problema.....	4
1.7	Formulación del problema.....	4
1.8	Hipótesis.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Origen de las frutas liofilizadas.....	6
2.2	Definición de frutas deshidratadas mediante el proceso de liofilización.....	6
2.3	Clasificación del yacón deshidratado.....	6
2.4	Aplicaciones de frutas deshidratadas para el ser humano.....	7

2.5	Caracterización del yacón como materia prima para la obtención de rodajas deshidratadas por liofilización.....	8
2.5.1	El yacón.....	8
2.5.2	Características botánicas de la planta de yacón.....	8
2.5.3	Composición fisicoquímica del yacón.....	9
2.5.4	Propiedades nutricionales del yacón.....	10
2.5.4.1	Los fructoolisacáridos.....	12
2.6	Usos y aplicaciones del yacón para el ser humano.....	13
2.7	Aditivos alimentarios.....	14
2.7.1	Ácido cítrico.....	14
2.7.1.1	Aplicaciones del ácido cítrico.....	14
2.7.2	Ácido ascórbico.....	15
2.7.2.1	Aplicaciones del ácido ascórbico.....	15
2.8	Proceso de conservación de alimentos basado en la reducción de la cantidad de agua en el alimento.....	15
2.9	Deshidratación por liofilización.....	15
2.10	Transferencia de calor durante la sublimación.....	16
2.11	Operaciones en el proceso de liofilización.....	16
2.11.1	Etapas o fases de la liofilización.....	16
2.11.2	El secado primario de los alimentos.....	17
2.11.3	El secado secundario de los alimentos.....	18
2.12	Contenido de humedad de los alimentos.....	19
2.13	Variables que influyen en la liofilización.....	20

2.13.1	Tamaño del alimento.....	20
2.13.2	Congelación de alimentos.....	20
2.13.3	Presión de liofilización.....	21
2.14	Características de un producto liofilizado.....	21
2.15	Almacenamiento del producto liofilizado.....	22
2.16	La rehidratación del productos liofilizados.....	22

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1	Desarrollo de la parte experimental.....	23
3.2	Tipo de intervención del trabajo de investigación a nivel experimental.....	23
3.3	Paradigma investigativo.....	23
3.3.1	Paradigma positivista.....	24
3.4	Enfoque de la investigación.....	24
3.5	Métodos – técnicas e instrumentos.....	24
3.5.1	Métodos y técnicas de los análisis físicos e índice de madurez del yacón.....	25
3.5.2	Métodos y técnicas de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del yacón.....	25
3.5.2.1	Métodos y técnicas de los micronutrientes del yacón	25
3.5.3	Métodos y técnicas de las propiedades fisicoquímicos y microbiológicos de las rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	26

3.5.3.1	Métodos y técnicas de los micronutrientes de las rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	27
3.6	Equipos, instrumentos y material de laboratorio.....	27
2.7.1	Equipos.....	28
2.7.1.1	Instrumentos de laboratorio.....	28
2.7.2	Materiales y utensilios de laboratorio.....	29
2.7.2.1	Materiales de laboratorio.....	29
2.8	Utensilios de cocina.....	29
2.9	Aditivos de uso alimentario.....	30
2.10	Reactivos químicos de laboratorio.....	30
2.11	Diagrama de flujo del proceso de obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	31
2.11.1	Desarrollo del diagrama de flujo de obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	32
2.11.2	Análisis sensorial.....	35
2.11.3	Diseño experimental.....	36
2.12	Diseño factorial.....	37
2.13	Diseño factorial 2 ² en la etapa de liofilización.....	37
2.13.1	Operacionalización de la variable dependiente e independiente en la obtención de rodajas deshidratadas por liofilización.....	38

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Caracterización del yacón.....	40
4.1.1	Propiedades físicas del yacón.....	40

4.1.2	Índice de madurez del yacón.....	41
4.1.2.1	Relación acidez en función de pH en las muestras de yacón.....	41
4.1.3	Análisis fisicoquímico del yacón.....	43
4.1.3.1	Análisis minerales del yacón.....	43
4.1.4	Análisis microbiológico del yacón.....	44
4.2	Caracterización de las variables del proceso para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	44
4.2.1	Pruebas preliminares para determinar el pretratamiento de muestras de rodajas de yacón.....	44
4.2.2	Variación de tiempo de inmersión en solución de ácido cítrico para determinar el tipo de pretratamiento de la prueba 1.....	45
4.2.3	Variación de tiempo de inmersión en solución de ácido ascórbico para determinar el tipo de pretratamiento de la prueba 2.....	46
4.2.4	Evaluación sensorial del atributo color y apariencia para elegir el tipo de pretratamiento final de muestra preliminar.....	46
4.2.4.1	Estadístico caja y bigote para elegir el tipo de pretratamiento para las muestras de rodajas de yacón.....	46
4.2.4.2	Análisis de varianza del atributo color en las muestras de rodajas de yacón con pretratamiento.....	48
4.2.4.3	Prueba de Tukey para el atributo color en las muestras de rodajas de yacón con pretratamiento.....	48
4.2.4.4	Análisis de varianza del atributo apariencia para elegir el pretratamiento de las muestras de rodajas de yacón.....	48
4.2.5	Variación de tiempo y temperatura de congelación en muestras de rodajas de yacón con pretratamiento.....	49

4.3	Diseño experimental en el proceso de liofilización de las muestras de rodajas de yacón.....	49
4.3.1	Análisis de la varianza para la variable respuesta del contenido de humedad en la etapa de secado por liofilización.....	50
4.3.1.1	Optimización de la variable respuesta del diseño experimental de las muestras de rodajas deshidratadas de yacón con pretratamiento.....	52
4.3.2	Estadístico caja y bigote para las muestras del diseño experimental 2^2 del contenido de humedad.....	53
4.3.2.1	Análisis de la varianza para el atributo color en la muestra del diseño experimental 2^2 para el contenido de humedad.....	54
4.3.2.2	Análisis de la varianza para el atributo presentación en la muestra del diseño experimental 2^2 para el contenido de humedad.....	54
4.3.2.2.1	Prueba de Tukey para el atributo presentación.....	54
4.3.2.3	Elección de la muestra final del diseño experimental en rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	55
4.4	Caracterización de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	55
4.4.1	Análisis fisicoquímico de las rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	55
4.4.2	Análisis de minerales de las rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	56

4.4.3	Análisis de microorganismos de las rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	56
4.5	Balance de materia en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	57
4.5.1	Balance de materia en el proceso de selección.....	60
4.5.2	Balance de materia en el proceso de lavado.....	62
4.5.3	Balance de materia en el proceso de pelado.....	63
4.5.4	Balance de materia en el proceso de cortado.....	64
4.5.5	Balance de materia en el proceso de pretratamiento.....	65
4.5.6	Balance de materia en el proceso de escurrido.....	67
4.5.7	Balance de materia en el proceso de liofilizado.....	67
4.6	Resumen general del balance de materia.....	69
4.7	Balance de energía en el proceso de obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	70
4.7.1	Balance de energía en la etapa de liofilización.....	70

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	73
4.2	Recomendaciones.....	74
	Bibliografía.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Composición fisicoquímica del yacón.....	10
3.1	Reactivos químicos de laboratorio.....	30
3.2	Niveles de variables.....	37
3.3	Matriz de variable en la etapa de liofilización.....	38
3.4	Operacionalización de la variable dependiente e independiente en la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización...	39
4.1	Propiedades físicas del yacón.....	40
4.2	Parámetros del índice de madurez del yacón.....	41
4.3	Análisis fisicoquímico del yacón.....	43
4.4	Análisis de minerales del yacón.....	43
4.5	Análisis microbiológico del yacón.....	44
4.6	Pretratamiento con solución de ácido critico.....	45
4.7	Pretratamiento con solución de ácido ascórbico.....	46
4.8	Prueba de Tukey para el atributo color.....	48
4.9	Contenido de humedad en base seca en el proceso de liofilización.....	50
4.10	Análisis de varianza para la variable respuesta contenido de humedad.....	50
4.11	Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad.....	52
4.12	Prueba de Tukey para el atributo presentación.....	54
4.13	Análisis fisicoquímico de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	56

4.14	Análisis de minerales de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	56
4.15	Análisis microbiológico de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Clasificación según el método para la obtención de yacón deshidratado.....	7
2.2	Planta de yacón.....	8
2.3	Propiedades nutricionales del yacón.....	11
2.4	Estructura de los fructanos.....	13
2.5	Propiedades físicas del yacón.....	17
2.6	Fases de liofilización.....	17
2.7	Proceso de liofilización Temperatura – concentración.....	18
2.8	Ciclo de un proceso de liofilización.....	19
3.1	Parámetros físicos del yacón.....	25
3.2	Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del yacón.....	26
3.3	Métodos y técnicas de los micronutrientes del yacón.....	26
3.4	Parámetros fisicoquímicos del producto terminado.....	27
3.5	Métodos y técnicas de los micronutrientes de rodajas deshidratadas de rodajas de yacón.....	27
3.6	Equipos.....	28
3.7	Instrumentos de laboratorio.....	28
3.8	Reactivo de grado alimenticio.....	30

3.9	Obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	31
3.10	Yacón.....	32
3.11	Selección.....	32
3.12	Lavado.....	32
3.13	Pelado.....	33
3.14	Cortado.....	33
3.15	Pretratamiento.....	33
3.16	Escurreo.....	34
3.17	Congelado.....	34
3.18	Liofilizado.....	34
3.19	Envasado.....	35
3.20	Almacenado.....	35
3.21	Análisis organoléptico de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	36
4.1	Relación de pH y acidez de las muestras de yacón.....	42
4.2	Índice de madures de las muestras de yacón.....	42
4.3	Pruebas experimentales para la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	45
4.4	Caja de bigote en la determinación de tipo de pretratamiento en rodajas de yacón.....	47
4.5	Variación de tiempo y temperatura en la congelación de muestras con tratamiento.....	49
4.6	Efectos principales de intersección para humedad.....	51

4.7	Diagrama de Pareto estandarizado para humedad.....	52
4.8	Caja de bigote para el análisis de la variable respuesta contenido de humedad.....	53
4.9	Porcentaje de aceptación para la muestra final.....	55
4.10	Balance de materia en la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	58
4.11	Balance de materia en la etapa de selección.....	60
4.12	Balance de materia en la etapa de lavado.....	62
4.13	Balance de materia en la etapa de pelado.....	63
4.14	Balance de materia en la etapa de cortado.....	64
4.15	Balance de materia en la etapa de pretratamiento.....	65
4.16	Balance de materia en la preparación de solución con ácido cítrico.....	66
4.17	Balance de materia en la etapa de escurrido.....	67
4.18	Balance de materia en la etapa de liofilizado.....	68
4.19	Resumen del balance de materia en la obtención de rodajas deshidratadas de yacón por liofilización.....	69
4.20	Balance de energía en la etapa de liofilización.....	70