

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LOS**  
**ALIMENTOS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**“OBTENCIÓN DE RODAJAS DE PIÑA DESHIDRATADA”**

**Por:**

**LOURDES NOEMI GUERRERO GUERRERO**

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

**AGOSTO, 2022**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

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

.....  
Ing. Jesús Zamora Gutiérrez  
**DIRECTOR DEL  
DEPARTAMENTO DE  
BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS  
DE LOS ALIMENTOS**

.....  
M.Sc. Ing. Erick Ramírez Ruiz  
**DOCENTE GUÍA**

.....  
Ing. Marcela Terán Veramendy  
**TRIBUNAL CALIFICADOR**

.....  
Ing. Luis Fernando Zenteno Benítez  
**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 esta responsabilidad del autor

**Dedicatoria:**

Infinitamente a Dios por cuidarme y guiarme siempre.

A mi querida madre Ninfa por ser el pilar fundamental en mi vida que con mucho esfuerzo y trabajo supo sacarme adelante y por brindarme su amor incondicional.

A mi hermano Edwin quien siempre estuvo brindándome su apoyo.

A mis abuelitos que son mis segundos padres: Antolina por inculcarme buenos valores y brindarme su cariño cada día y en memoria de mi abuelito Bonifacio (+) que desde el cielo me ilumina y me guía para seguir adelante.

A mi primo Bonifacio y mi sobrina Luna por inspirarme y llenar de alegría mis días.

### **Agradecimiento:**

A Dios por haberme bendecido con la hermosa familia que tengo.

A mi madre Ninfa y toda mi familia por sus consejos, su cariño y apoyo en todo momento.

A mi docente guía Ing. Erick Ramírez por asesorarme durante la realización del presente trabajo.

A los docentes de la Carrera Ingeniería de Alimentos por haberme enseñado y formado como profesional en especial a mi tribunal calificador Ing. Luis Zenteno, Ing. Weimar Torrejón e Ing. Marcela Teran por sus consejos.

A todos mis compañeros y amigos que siempre estuvieron presente alentándome moralmente en especial a Solange y Wilfredo que me brindaron su apoyo cuando más lo necesitaba.

**Pensamiento:**

“Las raíces de la educación son amargas, pero sus frutos son dulces”. (Aristóteles)

**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
1.6.1	Espacial .....	5
1.6.2	Temporal .....	5
1.6.3	Institución.....	5
1.7	Formulación del problema.....	5
1.8	Hipótesis .....	5

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

2.1	Origen de la piña.....	6
2.2	Descripción botánica de la piña.....	6
2.2.1	Taxonomía de la piña.....	7
2.2.2	Anatomía del fruto de la piña.....	7
2.3	Clasificación de las variedades de piña.....	9
2.4	Composición fisicoquímica del fruto de la piña.....	9
2.5	Propiedades nutricionales de la piña.....	10
2.6	Aplicaciones del fruto de la piña.....	11
2.7	Deshidratación de los alimentos como método de conservación...	11

2.7.1	Deshidratado con aire caliente.....	12
2.7.2	Secador de bandeja o armario.....	12
2.8	Actividad del agua.....	13
2.9	Contenido de humedad de un alimento.....	13
2.9.1	Contenido de humedad en base húmeda.....	13
2.9.2	Contenido de humedad en base seca.....	14
2.9.3	Humedad en equilibrio.....	14
2.9.4	Humedad libre.....	14
2.9.5	Humedad ligada.....	14
2.9.6	Humedad desligada.....	14
2.9.7	Humedad crítica.....	14
2.10	Definiciones psicrométricas.....	15
2.10.1	Humedad absoluta.....	15
2.10.2	Humedad de saturación.....	15
2.10.3	Humedad relativa.....	15
2.10.4	Temperatura de bulbo seco.....	15
2.10.5	Temperatura de bulbo húmedo.....	15
2.11	Curvas de secado.....	16
2.11.1	Curva de contenido de humedad en función del tiempo de secado.	16
2.11.2	Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad .....	18
2.12	Factores que afectan la velocidad y tiempo de secado.....	19
2.13	Factores químicos que alteran los productos deshidratados.....	20
2.13.1	Pardeamiento enzimático.....	20
2.13.2	Reacción de Maillard.....	20
2.14	Factores físicos que alteran los productos deshidratados.....	20
2.14.1	Cambios de estructura de los alimentos.....	21
2.14.2	Cambios de sabor y aroma.....	21

2.15	Métodos de pretratamientos.....	21
2.15.1	Acidificación .....	21
2.15.2	Deshidratación osmótica.....	22
2.15.2.1	Factores que afectan la deshidratación osmótica.....	22
2.15.2.1.1	Selección del agente osmótico.....	23
2.15.2.1.2	pH de la solución.....	23
2.15.2.1.3	Temperatura de la solución.....	23
2.15.2.1.4	Geometría y tamaño de la muestra.....	23
2.15.3	Ventajas de la deshidratación osmótica.....	24
2.16	Envasado de productos deshidratados.....	24

### **CAPÍTULO III**

#### **DISEÑO METODOLÓGICO**

3.1	Desarrollo del trabajo de investigación.....	25
3.2	Tipo de intervención de la parte experimental.....	25
3.3	Paradigma investigativo.....	25
3.4	Enfoque de la investigación.....	26
3.5	Métodos, técnicas e instrumentos.....	26
3.5.1	Métodos y técnicas de los análisis físicos e índice de madurez de la piña.....	27
3.5.2	Métodos y técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico de la piña.....	27
3.5.3	Caracterización de las rodajas de piña deshidratada.....	28
3.5.3.1	Métodos y técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico y de las rodajas de piña deshidratada.....	28
3.5.3.2	Métodos y técnicas de los micronutrientes de las rodajas de piña deshidratada .....	29
3.5.4	Equipos, instrumentos, material de laboratorio e utensilios de cocina .....	30

3.5.4.1	Equipos .....	30
3.5.4.2	Instrumentos de laboratorio.....	30
3.5.4.3	Material de laboratorio.....	31
3.5.4.4	Utensilios de cocina.....	32
3.6	Insumos y aditivos alimentarios.....	32
3.7	Reactivos químicos de laboratorio.....	33
3.8	Diagrama de flujo del proceso de obtención de rodajas de piña deshidratada .....	33
3.8.1	Descripción del diagrama de flujo para la obtención de rodajas de piña deshidratada.....	35
3.9	Evaluación sensorial de los alimentos.....	39
3.10	Diseño experimental.....	40
3.11	Diseño factorial $2^k$ .....	40
3.11.1	Diseño factorial $2^3$ .....	41
3.11.2	Diseño factorial $2^3$ en el proceso de secado de las rodajas de piña...	41
3.12	Operacionalización de las variables para la obtención de rodajas de piña deshidratada.....	43

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADO Y DISCUSIONES**

4.1	Caracterización de la piña.....	44
4.1.2	Análisis físicos de la piña.....	44
4.1.3	Índice de madurez de las muestras de piña.....	46
4.1.3.1	Relación acidez vs pH en las muestras de piña.....	46
4.1.4	Análisis fisicoquímico de la piña.....	48
4.1.5	Análisis microbiológico de la piña.....	48
4.2	Caracterización de las variables del proceso en la obtención de rodajas de piña deshidratada.....	49
4.2.1	Pretratamientos de las rodajas de piña deshidratada.....	49
4.2.2	Variación de la concentración del jarabe de sacarosa en el ensayo...	50

4.2.2.1	Estadístico caja y bigote en la variación de la concentración de la solución con jarabe de sacarosa.....	51
4.2.3	Variación de la concentración del jarabe de sacarosa y glucosa del ensayo 2.....	52
4.2.3.1	Estadístico de caja y bigote en la variación de la concentración de la solución de sacarosa y glucosa.....	53
4.2.4	Variación de las soluciones acidas y natural del ensayo 3.....	54
4.2.4.1	Estadístico caja y bigote en la variación de la solución acidas y sin tratamiento.....	55
4.2.4.1.1	Estadístico Tukey para el atributo color en la variación de la solución acidas y sin tratamiento.....	56
4.2.4.1.2	Estadístico Tukey para el atributo olor en la variación de la solución acidas y sin tratamiento.....	57
4.2.5	Variación de pérdida de humedad en las muestras del ensayo 4.....	57
4.3	Diseño experimental en el proceso de secado de las rodajas de piña..	59
4.3.1	Diseño factorial $2^3$ en el proceso de secado para las muestras de rodajas de piña sin pretratamiento.....	59
4.3.1.1	Análisis de varianza del diseño experimental del proceso de secado de las rodajas de piña deshidratada sin tratamiento.....	60
4.3.1.2	Coefficiente de regresión para el contenido de humedad de las muestras sin pretratamiento.....	63
4.3.1.3	Optimización de la variable respuesta del diseño factorial de las muestras sin pretratamiento.....	64
4.3.2	Diseño factorial $2^3$ en el proceso de secado para las muestras de rodajas de piña con pretratamiento.....	65
4.3.2.1	Análisis de varianza del diseño experimental del proceso de secado de las rodajas de piña deshidratada con pretratamiento.....	66
4.3.2.2	Coefficiente de regresión para el contenido de humedad de las muestras de rodajas de piña con pretratamiento.....	69
4.3.2.3	Optimización de la variable respuesta del diseño factorial de las muestras de rodajas de piña deshidratada con pretratamiento.....	70
4.3.3	Evaluación sensorial de muestras experimentales para las rodajas de piña deshidratada.....	71

4.3.3.1	Estadístico caja y bigote de las muestras experimentales del nivel inferior del factor forma de corte.....	71
4.3.3.2	Estadístico caja y bigote de las muestras experimentales del nivel superior del factor forma de corte.....	72
4.3.3.2.1	Estadístico Tukey en el atributo aroma para el nivel superior del factor forma de corte.....	73
4.3.3.2.2	Estadístico Tukey en el atributo sabor para el nivel superior del factor forma de corte.....	73
4.4	Influencia del contenido de humedad en la etapa de secado de las muestras de rodajas de piña deshidratada.....	75
4.4.1	Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D01, D02, ST1 y ST2.....	77
4.4.2	Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D03, D04, ST3 y ST4.....	78
4.4.3	Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D05, D06, ST5 y ST6.....	79
4.4.4	Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D07, D08, ST7 y ST8.....	79
4.4.5	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D01, D03, ST1 y ST3.....	81
4.4.6	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D02, D04, ST2 y ST4.....	82
4.4.7	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D05, D07, ST5 y ST7.....	83
4.4.8	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D06, D08, ST6 y ST8.....	84
4.4.9	Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D01, D05, ST1 y ST5.....	85
4.4.10	Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D02, D06, ST2 y ST6.....	86
4.4.11	Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D03, D07, ST3 y ST7.....	87
4.4.12	Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D04, D08, ST4 y ST8.....	89

4.5	Cinética de secado para la obtención de las rodajas de piña con pretratamiento y sin pretratamiento.....	90
4.6	Caracterización de las rodajas de piña deshidratada.....	96
4.6.1	Análisis fisicoquímico de las rodajas de piña deshidratada.....	96
4.6.2	Análisis microbiológico de las rodajas de piña deshidratada.....	97
4.6.3	Análisis de los micronutrientes de las rodajas de piña deshidratada..	97
4.7	Balance de materia en el proceso de obtención de rodajas de piña deshidratada.....	98
4.7.1	Balance de materia en la etapa de lavado de la piña.....	100
4.7.2	Balance de materia en la etapa de pelado de la piña.....	101
4.7.3	Balance de materia en la etapa de cortado en rodajas de la piña.....	103
4.7.4	Balance de materia en la etapa de descorazonado en rodajas de la piña.....	104
4.7.5	Balance de materia para la preparación de la solución del jarabe de sacarosa y glucosa.....	106
4.7.6	Balance de materia en la etapa de pretratamiento para las rodajas de piña.....	109
4.7.7	Balance de materia en la etapa de escurrido.....	110
4.7.8	Balance de materia en la etapa de secado de las rodajas de piña.....	111
4.7.9	Resumen general del balance de materia para la obtención de rodajas de piña deshidratada.....	115
4.8	Balance de energía en el proceso de deshidratado de las rodajas de piña deshidratada .....	117

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones .....	123
5.1	Recomendaciones .....	125

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Producción de piña en Bolivia.....	2
Tabla 2.1	Clasificación taxonómica de la piña.....	7
Tabla 2.2	Composición química de la piña.....	10
Tabla 4.1	Análisis físico de la piña.....	45
Tabla 4.2	Parámetros del índice de madurez de la piña.....	46
Tabla 4.3	Análisis fisicoquímicos de la piña.....	48
Tabla 4.4	Análisis microbiológicos de la piña.....	49
Tabla 4.5	Estadístico Tukey en el atributo color de las muestras del ensayo 3.....	56
Tabla 4.6	Estadístico Tukey en el atributo olor de las muestras del ensayo 3.....	57
Tabla 4.7	Contenido de humedad en base húmeda de las muestras con pretratamiento y sin tratamiento.....	59
Tabla 4.8	Contenido de humedad en base seca del proceso de secado de las muestras de rodajas de piña sin pretratamiento.....	60
Tabla 4.9	Análisis de varianza en el secado de las muestras sin pretratamiento.....	60
Tabla 4.10	Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca.....	64
Tabla 4.11	Valor óptimo para maximizar el contenido de humedad en base seca.....	65
Tabla 4.12	Contenido de humedad en base seca del proceso de secado de las muestras con pretratamiento.....	65
Tabla 4.13	Análisis de varianza en el deshidratado de las muestras con pretratamiento.....	66
Tabla 4.14	Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad.....	70
Tabla 4.15	Valores óptimos para maximizar el contenido de humedad.....	70
Tabla 4.16	Estadístico Tukey para el atributo aroma del nivel superior.....	73
Tabla 4.17	Estadístico Tukey para el atributo sabor del nivel superior.....	73

Tabla 4.18	VARIABLES PARA EL ANÁLISIS DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE SECA DE LAS MUESTRAS CON PRETRATAMIENTO.....	76
Tabla 4.19	VARIABLES PARA EL ANÁLISIS CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE SECA DE LAS MUESTRAS SIN PRETRATAMIENTO.....	76
Tabla 4.20	VARIACIÓN DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO PARA LAS RODAJAS DE PIÑA DESHIDRATADA CON PRETRATAMIENTO.....	91
Tabla 4.21	VARIACIÓN DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO PARA LAS RODAJAS DE PIÑA DESHIDRATADA SIN PRETRATAMIENTO.....	94
Tabla 4.22	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LAS RODAJAS DE PIÑA DESHIDRATADA.....	96
Tabla 4.23	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LAS RODAJAS DE PIÑA DESHIDRATADA.....	97
Tabla 4.24	ANÁLISIS DE LOS MICRONUTRIENTES DE LAS RODAJAS DE PIÑA DESHIDRATADA.....	97
Tabla 4.25	DATOS DE PORCIÓN NO COMESTIBLE Y PORCIÓN COMESTIBLE DE LA PIÑA.	102
Tabla 4.26	PROPIEDADES PSICOMÉTRICAS DEL AIRE.....	114

### ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1	MATRIZ EXPERIMENTAL EN LA ETAPA DE SECADO DE LAS RODAJAS DE PIÑA DESHIDRATADA.....	42
Cuadro 3.2	NIVELES DE VARIACIÓN EN EL PROCESO DE SECADO.....	42
Cuadro 3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES PARA EL PRESENTE TRABAJO.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Anatomía del fruto de la piña.....	8
Figura 2.2	Clasificación de los cultivos de piña.....	9
Figura 2.3	Curva de secado.....	16
Figura 2.4	Curva de velocidad de secado.....	18
Figura 3.1	Métodos y técnicas de las propiedades físicas e índice de madurez de la piña.....	27
Figura 3.2	Métodos y técnicas de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la piña.....	28
Figura 3.3	Métodos y técnicas de los Análisis fisicoquímico y microbiológico de las rodajas de piña deshidratada.....	29
Figura 3.4	Métodos y técnicas de los micronutrientes de las rodajas de piña.....	29
Figura 3.5	Especificaciones técnicas de los equipos.....	30
Figura 3.6	Especificaciones técnicas de los instrumentos de laboratorio....	31
Figura 3.7	Diagrama del proceso de obtención de rodajas de piña deshidratada.....	34
Figura 3.8	Piña.....	35
Figura 3.9	Etapa de lavado.....	35
Figura 3.10	Etapa de pelado.....	35
Figura 3.11	Cortado en rodajas.....	36
Figura 3.12	Descorazonado.....	36
Figura 3.13	Pretratamiento.....	36
Figura 3.14	Escurrido.....	37
Figura 3.15	Distribución en bandeja.....	37
Figura 3.16	Deshidratado.....	37
Figura 3.17	Enfriamiento.....	38
Figura 3.18	Envasado.....	38
Figura 3.19	Almacenado.....	38
Figura 3.20	Evaluaciones sensoriales de las rodajas de piña deshidratada....	39

Figura 4.1	Muestras de piña (porción no comestible y porción comestible).	44
Figura 4.2	Relación del pH y acidez de las muestras de piña.....	47
Figura 4.3	Índice de madurez de las diez muestras de piña.....	47
Figura 4.4	Ensayos experimentales para la obtención de rodajas de piña deshidratada.....	50
Figura 4.5	Variación de la concentración del jarabe de sacarosa para el ensayo 1.....	51
Figura 4.6	Caja y bigote de las muestras variando la concentración de sacarosa.....	52
Figura 4.7	Variación de la concentración del jarabe de sacarosa y glucosa para el ensayo 2.....	53
Figura 4.8	Estadístico caja y bigote en la variación del jarabe sacarosa y glucosa para el ensayo 2.....	54
Figura 4.9	Variación de las soluciones acidas y al natural.....	55
Figura 4.10	Estadístico caja y bigote para la variación de la solución ácida y sin tratamiento del ensayo 3.....	56
Figura 4.11	Variación del contenido de humedad de las muestras vs tiempo.....	58
Figura 4.12	Efectos principales con relación al contenido de humedad.....	61
Figura 4.13	Interacciones de los factores con relación al contenido de humedad.....	62
Figura 4.14	Pareto estandarizado del diseño sin pretratamiento.....	63
Figura 4.15	Efectos principales con relación al contenido de humedad.....	67
Figura 4.16	Interacciones de los factores con relación al contenido de humedad.....	68
Figura 4.17	Pareto estandarizado para el diseño factorial con pretratamiento.....	69
Figura 4.18	Estadístico caja y bigote para el nivel inferior del factor forma de corte.....	71
Figura 4.19	Estadístico caja y bigote para el nivel superior del factor forma de corte.....	72
Figura 4.20	Porcentaje de aceptación para la forma de corte.....	74

Figura 4.21	Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D01, D02, ST1 y ST2.....	77
Figura 4.22	Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D03, D04, ST3 y ST4.....	78
Figura 4.23	Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D05, D06, ST5 y DT6.....	79
Figura 4.24	Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D07, D08, ST7 y ST8.....	80
Figura 4.25	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D01, D03, ST1 y ST3.....	81
Figura 4.26	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D02, D04, DT2 y ST4.....	82
Figura 4.27	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D05, D07, ST5 y ST7.....	83
Figura 4.28	Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D06, DO8, ST6 y ST8.....	84
Figura 4.29	Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D01, D05, ST5 y ST7.....	86
Figura 4.30	Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D02, D06, ST2 y ST6.....	87
Figura 4.31	Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D03, D07, ST4 y ST7.....	88
Figura 4.32	Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D04, D08, ST4 y ST8.....	89
Figura 4.33	Cinética de secado en el proceso de secado con pretratamiento para obtener rodajas de piña deshidratada.....	92
Figura 4.34	Cinética de secado en el proceso de secado sin pretratamiento para obtener rodajas de piña deshidratada.....	95
Figura 4.35	Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de rodajas de piña deshidratada.....	98
Figura 4.36	Etapa de lavado.....	101
Figura 4.37	Etapa de pelado.....	102
Figura 4.38	Etapa de cortado en rodajas.....	103
Figura 4.39	Etapa de descorazonado.....	105

Figura 4.40	Etapa de preparación del jarabe.....	106
Figura 4.41	Preparación del jarabe de sacarosa.....	107
Figura 4.42	Preparación del jarabe de glucosa.....	108
Figura 4.43	Etapa de pretratamiento.....	109
Figura 4.44	Etapa de escurrido.....	111
Figura 4.45	Etapa de secado.....	112
Figura 4.46	Resumen general del balance de materia.....	116
Figura 4.47	Balance de energía en el proceso de secado para la obtención de rodajas de piña deshidratada.....	117