

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS



ELABORACIÓN DE MERMELADA A PARTIR DE LA HOJA DE NOPAL

POR: DIEGO JESÚS ZAMORA AVILES

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.

DICIEMBRE, 2022

TARIJA-BOLIVIA

Dedicatoria

El presente trabajo de grado va dedicado principalmente:

A Dios

Por guiar mi camino y por darme fortaleza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres

Lidia Aviles Farfán y Jesús Zamora Gutiérrez por ser los pilares más importantes y fundamentales en mi vida, por su amor, trabajo y sacrificio incondicional en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mi Abuela y tía

Fabia Farfán Chávez y Elizabeth Zamora Gutiérrez por ser muy importantes en mi vida y por el apoyo moral para seguir adelante.

A mis hermanos

Raúl Zamora Aviles y Esther Zamora Aviles por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

ÍNDICE

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivo general.....	3
1.4	Objetivos específicos	3
1.5	Situación problemática.....	4
1.6	Formulación de problema.....	4
1.7	Objeto de estudio.....	5
1.8	Campo de acción.....	5
1.9	Formulación de la hipótesis.....	5

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Origen de la mermelada.....	6
2.2	Definición de mermelada de frutas.....	6
2.3	Clasificación de mermeladas.....	6
2.3.1	Descripción de la clasificación de concentrado en frutas.....	7
2.4	Características fisicoquímicas de la mermelada.....	8
2.4.1	Humedad.....	8
2.4.2	Acidez titulable.....	9
2.4.3	Acidez iónica.....	9
2.4.4	Sólidos solubles.....	10
2.5	Características organolépticas de la mermelada.....	10
2.5.1	Consistencia.....	10
2.5.2	Aroma.....	10
2.5.3	Sabor.....	11
2.5.4	Apariencia.....	11
2.6	Caracterización de la materia prima para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal.....	11
2.6.1	Hoja de nopal (<i>Opuntia ficus - indica</i>).....	11
2.6.2	Taxonomía de la especie de nopal (<i>Opuntia ficus - indica</i>).....	12
2.6.3	Variedades del nopal.....	12
2.6.4	Composición fisicoquímica proximal de la hoja de la especie de nopal (<i>Opuntia ficus - indica</i>).....	13
2.6.5	Propiedades nutricionales de la hoja de nopal.....	13

2.6.6	Aplicaciones del nopal.....	14
2.7	Caracterización de los insumos en la elaboración de mermelada a partir de hojas de nopal.....	15
2.7.1	Insumos naturales.....	15
2.7.1.1	Agua potable.....	15
2.7.1.2	Aplicación de agua potable en la elaboración de mermelada de nopal.....	15
2.7.1.3	Azúcar.....	16
2.7.1.4	Aplicación del azúcar en la elaboración de mermelada de nopal...	16
2.7.2	Insumos artificiales.....	16
2.7.2.1	Glucosa.....	16
2.7.2.2	Aplicación de la glucosa en la elaboración de mermelada de nopal.....	16
2.7.2.3	Pectina.....	17
2.7.2.4	Aplicación de la pectina en la elaboración de mermelada de nopal.....	17
2.7.2.5	Ácido cítrico.....	17
2.7.2.6	Aplicación de ácido cítrico en la elaboración de mermelada de nopal.....	17
2.7.2.7	Colorante artificial.....	18
2.7.2.8	Aplicación de colorante artificial en la elaboración de mermelada de nopal.....	18
2.8	Concentración de sólidos en frutas.....	18
2.9	Factores que influyen en la elaboración de mermelada.....	18
2.9.1	Cocción inicial.....	18
2.9.2	Temperatura.....	19
2.9.3	Cocción final y agregado de insumos.....	19
2.9.4	pH.....	19
2.9.5	Defectos en la elaboración de mermeladas.....	19
2.9.6	Mermelada floja o poco firme.....	20
2.9.7	Presencia de sinéresis en mermelada.....	20
2.9.8	Presencia de cambio de color en mermelada.....	20
2.9.9	Presencia de cristalización en mermelada.....	21
2.9.10	Crecimiento microbiano en mermelada.....	21

CAPÍTULO III METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1	Desarrollo de la parte experimental.....	22
3.2	Tipos de intervención para la parte experimental.....	22
3.3	Tipo de investigación.....	22
3.4	Paradigma de la investigación.....	23
3.4.1	Enfoque de la investigación.....	23
3.5	Métodos, técnicas e instrumentos	24
3.5.1	Análisis físico e índice de madurez de la hoja de nopal.....	24
3.5.2	Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la hoja de nopal.....	25
3.5.3	Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la pulpa de nopal.....	25
3.5.4	Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada a partir de la hoja de nopal.....	26
3.5.5	Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada a partir de la hoja de nopal durante el almacenamiento.....	27
3.6	Insumos y aditivos alimentarios.....	28
3.7	Equipos de proceso, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina	29
3.7.1	Equipos de proceso.....	29
3.7.2	Instrumentos de laboratorio.....	29
3.7.3	Materiales de laboratorio.....	30
3.8	Diagrama de proceso para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal.....	31
3.8.1	Descripción del proceso de elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal	32
3.8.1.1	Selección de la hoja de nopal	32
3.8.1.2	Lavado.....	32
3.8.1.3	Acondicionado.....	32
3.8.1.4	Extracción y separación del mucilago	33
3.8.1.5	Tratamiento térmico	33
3.8.1.6	Triturado	33
3.8.1.7	Pre-concentración	34
3.8.1.8	Concentración.....	34
3.8.1.9	Esterilizado de envases de vidrio.....	34
3.8.1.10	Envasado y almacenado.....	35
3.9	Evaluación sensorial del producto final.....	35
3.10	Diseño experimental.....	36
3.10.1	Diseño factorial 2 ³	36

3.10.1.1	Diseño experimental en el proceso de dosificación de materia prima e insumos de la mermelada a partir de la hoja de nopal.....	37
3.11	Operacionalización de la variable dependiente e independiente para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal.....	38

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.1	Caracterización de la materia prima.....	40
4.1.1	Parámetros físicos de la hoja de nopal.....	40
4.1.2	Índice de madures de la hoja de nopal.....	41
4.1.3	Parámetros fisicoquímicos de la hoja de nopal.....	42
4.1.4	Análisis microbiológicos de la hoja de nopal.....	43
4.1.5	Parámetros fisicoquímicos de la pulpa de nopal.....	43
4.1.6	Análisis microbiológicos de la pulpa de nopal.....	44
4.2	Caracterización de las variables del proceso de elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal.....	45
4.2.1	Pruebas iniciales para la elaboración de mermelada.....	45
4.2.1.1	Formulación de pruebas iniciales de mermelada a partir de hoja de nopal variando la dosificación.....	46
4.2.1.2	Variación del tipo de colorante en la elaboración de mermelada de nopal.....	48
4.2.2	Muestras preliminares para determinar el porcentaje de azúcar/glucosa y porcentaje de ácido cítrico.....	49
4.2.2.1	Estadístico de caja y bigote para las muestras preliminares de mermelada de nopal.....	50
4.2.2.2	Estadísticos de Tukey para el atributo color de la mermelada de nopal.....	51
4.2.2.3	Estadísticos de Tukey para el atributo sabor de la mermelada de nopal.	51
4.2.2.4	Estadísticos de Tukey para el atributo de dulzor de la mermelada de nopal.....	52
4.2.2.5	Estadísticos de Tukey para el atributo de acidez de la mermelada de nopal.....	53
4.2.2.6	Estadísticos de Tukey para el atributo de textura de la mermelada de nopal.....	53
4.2.2.7	Estadísticos de Tukey para el atributo de apariencia de la mermelada de nopal.....	54
4.2.3	Muestras preliminares para determinar la muestra ideal de mermelada de nopal.....	54

4.2.3.1	Estadístico de caja y bigote para las pruebas preliminares mermelada de a partir de la hoja de nopal.....	55
4.2.3.2	Estadísticos de Tukey para el atributo color de la mermelada a partir de la hoja de nopal.....	55
4.2.4	Diseño factorial 2 ³ en la etapa de dosificación de mermelada a partir de la hoja de nopal.....	56
4.2.4.1	Variable respuesta azúcares reductores de mermelada a partir de la hoja de nopal	56
4.2.4.2	Variable respuesta porcentaje de acidez (expresado en ácido cítrico)	59
4.2.4.3	Variable respuesta pH	63
4.2.5	Evaluación sensorial de pruebas del diseño experimental de mermelada a partir de la hoja de nopal	67
4.2.5.1	Estadístico caja y bigote de pruebas del diseño experimental de mermelada a partir de la hoja de nopal de nivel inferior	67
4.2.5.1.1	Estadísticos de Tukey para el atributo de textura de la mermelada a partir de la hoja de nopal	68
4.2.5.1.2	Estadísticos de Tukey para el atributo de apariencia de la mermelada a partir de la hoja de nopal	68
4.2.5.2	Estadístico caja y bigote de pruebas del diseño experimental de mermelada a partir de la hoja de nopal de nivel superior	69
4.2.5.2.1	Estadísticos de Tukey para el atributo de acidez de la mermelada a partir de la hoja de nopal	70
4.2.6	Control de °Brix y contenido de humedad en el proceso de pre concentración y concentración de mermelada a partir de la hoja de nopal	70
4.2.7	Control de °Brix durante la etapa de concentración de mermelada a partir de la hoja de nopal	77
4.2.8	Evaluación sensorial de muestras del diseño experimental del nivel superior e inferior de mermelada a partir de la hoja de nopal	79
4.2.8.1	Estadístico caja y bigote de muestras del diseño experimental del nivel superior e inferior de mermelada a partir de la hoja de nopal....	80
4.2.8.1.1	Estadísticos de Tukey para el atributo dulzor de la mermelada a partir de la hoja de nopal	80
4.2.8.1.2	Estadísticos de Tukey para el atributo sabor de la mermelada a partir de la hoja de nopal	81
4.2.8.1.3	Estadísticos de Tukey para el atributo acidez de la mermelada a partir de la hoja de nopal	82
4.2.9	Comparación de muestras del diseño experimental de nivel superior de mermelada a partir de la hoja de nopal	82

4.2.9.1	Estadístico caja y bigote de muestras del diseño experimental del nivel superior de mermelada a partir de la hoja de nopal	82
4.2.9.1.1	Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia de la mermelada a partir de la hoja de nopal	83
4.2.9.1.2	Estadístico de caja y bigote para muestra final de mermelada de nopal.....	84
4.3	Caracterización del producto terminado	84
4.3.1	Análisis físico de la mermelada a partir de la hoja de nopal.....	85
4.3.2	Análisis fisicoquímico de la mermelada a partir de la hoja de nopal...	85
4.3.3	Análisis microbiológico de la mermelada a partir de la hoja de nopal	86
4.3.4	Análisis fisicoquímico y microbiológico de la mermelada a partir de la hoja de nopal durante su almacenado de tres meses.....	86
4.4	Balance de materia y energía para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal	87
4.4.1	Balance de materia	88
4.4.1.1	Balance de materia en la etapa de acondicionado de la hoja de nopal	89
4.4.1.2	Balance de materia en la etapa de extracción y filtración de mucilago.....	91
4.4.1.3	Balance de materia en la etapa de tratamiento térmico.....	92
4.4.1.4	Balance de materia en la etapa de triturado.....	93
4.4.1.5	Balance de materia en la etapa de pre concentración.....	94
4.4.1.6	Balance de materia en la etapa de concentración.....	95
4.4.2	Balance de energía.....	99
4.4.2.1	Balance de energía en la etapa de tratamiento térmico	102
4.4.2.2	Balance de energía en la etapa de triturado.....	104
4.4.2.3	Balance de energía en la etapa de preconcentración y concentración.....	104
4.4.2.4	Balance de energía en la etapa de esterilización de frascos.....	106

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	105
5.2	Recomendaciones.....	107

Bibliografía

Anexos

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Taxonomía de la especie de nopal (<i>Opuntia ficus - indica</i>).....	12
Tabla 2.2	Composición fisicoquímica proximal de la hoja de nopal, expresados en base húmeda.....	13
Tabla 2.3	Composición nutricional de la hoja de nopal.....	14
Tabla 3.1	Matriz de variables para el proceso de dosificación de materia prima e insumos.....	38
Tabla 3.2	Niveles de variación de los factores de dosificación.....	
Tabla 4.1	Propiedades físicas de la hoja de nopal.....	41
Tabla 4.2	Índice de madurez de la hoja de nopal.....	42
Tabla 4.3	Composición fisicoquímica de la hoja de nopal.....	42
Tabla 4.4	Análisis microbiológico de la hoja de nopal.....	43
Tabla 4.5	Composición fisicoquímica de la pulpa de nopal.....	44
Tabla 4.6	Análisis microbiológico de la pulpa de nopal.....	44
Tabla 4.7	Estadístico Tukey para el atributo color.....	51
Tabla 4.8	Estadístico Tukey para el atributo sabor.....	52
Tabla 4.9	Estadístico Tukey para el atributo dulzor.....	52
Tabla 4.10	Estadístico Tukey para el atributo acidez.....	53
Tabla 4.11	Estadístico Tukey para el atributo textura.....	53
Tabla 4.12	Estadístico Tukey para el atributo apariencia.....	54
Tabla 4.13	Estadístico Tukey para el atributo color.....	55
Tabla 4.14	Análisis de varianza en función de la variable azúcares reductores..	56
Tabla 4.15	Análisis de varianza en función de la variable acidez.....	60
Tabla 4.16	Análisis de varianza en función de la variable pH.....	64
Tabla 4.17	Estadístico Tukey para el atributo textura.....	68
Tabla 4.18	Estadístico Tukey para el atributo apariencia.....	69
Tabla 4.19	Estadístico Tukey para el atributo acidez.....	70
Tabla 4.20	Control de °Brix y contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal.....	71
Tabla 4.21	Control de °Brix y el contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal.....	73
Tabla 4.22	Control de °Brix y el contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal.....	74
Tabla 4.23	Control de °Brix y el contenido de humedad durante la elaboración de mermelada de nopal.....	76

Tabla 4.24	Control de °Brix durante de concentración.....	78
Tabla 4.25	Estadístico Tukey para el atributo dulzor.....	81
Tabla 4.26	Estadístico Tukey para el atributo sabor.....	81
Tabla 4.27	Estadístico Tukey para el atributo acidez.....	82
Tabla 4.28	Estadístico Tukey para el atributo apariencia.....	83
Tabla 4.29	Análisis físico de la mermelada de nopal.....	85
Tabla 4.30	Análisis fisicoquímico de la mermelada de nopal.....	85
Tabla 4.31	Análisis microbiológico de la mermelada de nopal.....	86
Tabla 4.32	Análisis fisicoquímico de la mermelada de nopal durante su almacenamiento.....	87
Tabla 4.33	Análisis microbiológico de la mermelada de nopal durante su almacenamiento.....	87
Tabla 4.34	Composición fisicoquímica de los alimentos.....	100
Tabla 4.35	Composición fisicoquímica de la pulpa de nopal.....	101
Tabla 4.36	Capacidad calorífica del agua, del acero inoxidable y aluminio.....	102
Tabla 4.37	Entalpías de vaporización del agua.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Producción de tuna en los municipios de Yunchara, Tomayapo, El Puente del departamento de Tarija.....	1
Figura 2.1	Clasificación de concentrado en frutas.....	7
Figura 2.2	Variedades de nopal cultivadas y silvestres	13
Figura 3.1	Métodos y técnicas para el análisis físico e índice de madurez de la hoja de nopal.....	24
Figura 3.2	Métodos y técnicas de análisis fisicoquímicos y microbiológico de la hoja de nopal.....	25
Figura 3.3	Métodos y técnicas de análisis fisicoquímicos y microbiológico de la pulpa de nopal.....	26
Figura 3.4	Métodos y técnicas para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada de nopal.....	27
Figura 3.5	Métodos y técnicas para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la mermelada de nopal durante el almacenamiento.....	28
Figura 3.6	Insumos y aditivos para la elaboración de mermelada de nopal.....	28
Figura 3.7	Equipos de proceso para la elaboración de mermelada de nopal	29
Figura 3.8	Instrumentos de laboratorio.....	30
Figura 3.9	Diagrama de proceso para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal.....	31

Figura 3.10	Hoja de nopal.....	32
Figura 3.11	Proceso de lavado de la hoja de nopal.....	32
Figura 3.12	Proceso de acondicionado de la hoja de nopal.....	32
Figura 3.13	Proceso de extracción y filtración del mucilago.....	33
Figura 3.14	Proceso de tratamiento térmico.....	33
Figura 3.15	Proceso de triturado.....	33
Figura 3.16	Proceso de pre-concentración.....	34
Figura 3.17	Proceso de concentración.....	34
Figura 3.18	Esterilizado de los envases de vidrio.....	34
Figura 3.19	Envasado de la mermelada.....	35
Figura 3.20	Evaluaciones sensoriales de la mermelada de nopal.....	36
Figura 4.1	Muestras de hoja de nopal.....	40
Figura 4.2	Pruebas iniciales para la elaboración de mermelada a partir de nopal.....	46
Figura 4.3	Formulación de pruebas iniciales de mermelada de nopal.....	46
Figura 4.4	Valoración subjetiva de muestras iniciales de mermelada de nopal.....	47
Figura 4.5	Variación del tipo de colorante a adicionar en la mermelada de nopal.....	48
Figura 4.6	Valoración subjetiva de muestras iniciales de mermelada de nopal adicionando tres tipos de colorante.....	49
Figura 4.7	Formulación de pruebas preliminares de mermelada de nopal.....	50
Figura 4.8	Caja y bigote para pruebas preliminares de mermelada de nopal....	50
Figura 4.9	Caja y bigote para pruebas preliminares de mermelada de nopal....	55
Figura 4.10	Diagrama Pareto estandarizado para el factor azúcares reductores..	57
Figura 4.11	Efectos principales con relación al factor azúcares reductores.....	58
Figura 4.12	Interacciones de los factores con relación al factor azúcares reductores.....	59
Figura 4.13	Diagrama Pareto estandarizado para el factor acidez.....	61
Figura 4.14	Efectos principales con relación al factor acidez.....	62
Figura 4.15	Interacciones de los factores con relación al factor acidez.....	63
Figura 4.16	Diagrama Pareto estandarizado para el factor pH.....	65
Figura 4.17	Efectos principales con relación al factor pH.....	65
Figura 4.18	Interacciones de los factores con relación al factor pH.....	66
Figura 4.19	Caja y bigote pruebas experimentales de mermelada de nopal nivel inferior.....	67
Figura 4.20	Caja y bigote pruebas experimentales de mermelada de nopal nivel superior.....	69
Figura 4.21	Control °Brix y el contenido de humedad durante el proceso de elaboración de mermelada de nopal.....	72

Figura 4.22	Control °Brix y el contenido de humedad durante el proceso de elaboración de mermelada de nopal.....	73
Figura 4.23	Control °Brix y el contenido de humedad durante el proceso de elaboración de mermelada de nopal.....	75
Figura 4.24	Control °Brix y el contenido de humedad durante el proceso de elaboración de mermelada de nopal.....	77
Figura 4.25	Control °Brix durante la etapa de concentración de mermelada de nopal.....	79
Figura 4.26	Caja y bigote pruebas experimentales del nivel superior e inferior..	80
Figura 4.27	Caja y bigote de muestras experimentales del nivel superior.....	83
Figura 4.28	Caja y Bigote para muestra final de mermelada de nopal.....	84
Figura 4.29	Balance general en la elaboración de mermelada de nopal.....	88
Figura 4.30	Acondicionado de la hoja de nopal	89
Figura 4.31	Extracción y filtración de mucílago.....	91
Figura 4.32	Tratamiento térmico.....	92
Figura 4.33	Triturado.....	93
Figura 4.34	Pre-concentración.....	94
Figura 4.35	Concentración.....	96
Figura 4.36	Resumen del balance de materia para la elaboración de mermelada	98
Figura 4.37	Tratamiento térmico.....	103
Figura 4.38	Triturado.....	104
Figura 4.39	Tratamiento térmico	105
Figura 4.40	Esterilización de frascos.....	106

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1	Operacionalización de la variable dependiente e independiente para la elaboración de mermelada a partir de la hoja de nopal.....	39
Cuadro 4.1	Ecuaciones para las propiedades físicas de la hoja de nopal.....	41