



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN DE LA ENZIMA FICINA PROVENIENTE
DEL LÁTEX DEL HIGO (*Ficus carica* L.) PARA SU IMPLEMENTACIÓN
EN UN ABLANDADOR CÁRNICO**

Alejandra María Chew Aldana

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales e

Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, mayo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN DE LA ENZIMA FICINA PROVENIENTE
DEL LÁTEX DEL HIGO (*Ficus carica* L.) PARA SU IMPLEMENTACIÓN
EN UN ABLANDADOR CÁRNICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALEJANDRA MARÍA CHEW ALDANA

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES E
ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN DE LA ENZIMA FICINA PROVENIENTE
DEL LÁTEX DEL HIGO (*Ficus carica* L.) PARA SU IMPLEMENTACIÓN
EN UN ABLANDADOR CÁRNICO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha febrero de 2013.



Alejandra María Chew Aldana



Guatemala, 21 de Octubre de 2015

Ingeniero
Victor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Ingeniero Monzón:


Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación titulado **“EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN DE LA ENZIMA FICINA PROVENIENTE DEL LÁTEX DEL HIGO (*Ficus carica* L.) PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN UN ABLANDADOR CÁRNICO”**, de la estudiante de Ingeniería Química Alejandra María Chew Aldana quien se identifica con el carné número 2007-14325.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,


Ing. Qco. Mario José Mérida Méndez
Coordinador
Laboratorio de Investigación
de Extractos Vegetales –LIEXVE-
Asesor




Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería / CII
Asesora





Guatemala, 20 de noviembre de 2015.
 Ref. EIQ.TG-IF.085.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
 DIRECTOR
 Escuela de Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **020-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Alejandra María Chew Aldana**.
 Identificada con número de carné: **2007-14325**.
 Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN DE LA ENZIMA FICINA PROVENIENTE DEL LÁTEX DEL HIGO (*Ficus carica L.*) PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN UN ABLANDADOR CÁRNICO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por los Ingenieros Químicos: **Telma Maricela Cano Morales** y **Mario José Mérida Meré**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


 Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
 COORDINADORA DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.024.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **ALEJANDRA MARÍA CHEW ALDANA** titulado: **"EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN DE LA ENZIMA FICINA PROVENIENTE DEL LÁTEX DEL HIGO (FICUS CARICA L.) PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN UN ABLANDADOR CÁRNICO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, abril 2016

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.214-.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN DE LA ENZIMA FICINA PROVENIENTE DEL LÁTEX DEL HIGO (*Ficus carica L.*) PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN UN ABLANDADOR CÁRNICO**, presentado por la estudiante universitaria: **Alejandra María Chew Aldana**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2016



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser fuente de luz y guía en cada etapa de mi vida.
- Mis padres** Luz Rebeca Aldana Vásquez (q. e. p. d.) y Ricardo Adolfo Chew Minera (q. e. p. d.), por haber entregado su trabajo y esfuerzo para el cumplimiento de mis sueños.
- Mi abuela** Rubenia Vásquez Terraza, por ser el principal engranaje en mi vida, ejemplo de lucha y valentía.
- Mi hermana** Ana Elisa Chew Aldana, por ser la fuerza motora y soporte de mis proyectos, así como la acompañante incondicional de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Inga. Telma Cano	Por su soporte técnico y orientación en el desarrollo de esta investigación, así como la experiencia transmitida a lo largo del proceso.
Ing. Mario Mérida	Por su apoyo y colaboración, proporcionando las herramientas prácticas para la culminación del proyecto de investigación.
Ing. Iván Pérez	Por su contribución y aporte técnico a lo largo del proceso de investigación y experimentación de este trabajo.
Mis amigos	Por acompañarme a lo largo de mi carrera universitaria y compartir mis logros.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser casa matriz de mis estudios profesionales y lugar de siembra de mis actuales logros.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Generalidades del higo	3
2.1.1. Clasificación científica	3
2.1.2. Origen y distribución	4
2.1.3. Descripción	4
2.1.4. Variedades	4
2.1.5. Climas y suelos	5
2.1.6. Propagación	5
2.1.7. Plantación	6
2.1.8. Mantenimiento	6
2.1.9. Riego	7
2.1.10. Arrope	7
2.1.11. Fertilización	8
2.1.12. Producción	8
2.1.13. Plagas y enfermedades	8
2.1.14. Nutrición	8

2.1.15.	Aplicaciones	9
2.2.	Enzimas	9
2.2.1.	Especificidad de las enzimas.....	10
2.2.2.	Unión con el sustrato.....	10
2.2.3.	Proceso catalítico	11
2.2.4.	Factores que influyen en las enzimas.....	12
2.2.4.1.	Efecto del pH.....	12
2.2.4.2.	Efecto de la temperatura.....	12
2.2.4.3.	Efecto de la concentración del sustrato.....	13
2.2.4.4.	Cuantificación de la actividad enzimática	13
2.2.5.	Uso industrial de las enzimas	14
2.2.6.	Proteasas	15
2.2.6.1.	Proteasas de origen vegetal	15
2.2.6.2.	Aplicaciones industriales de las proteasas vegetales.....	15
2.3.	Procedimiento de recolección y secado del látex	16
2.3.1.	Efecto de almacenamiento y secado del látex en la actividad de la ficina	17
2.3.2.	Extracción y purificación de la ficina	17
2.4.	Operación de secado	18
2.4.1.	Cantidad de humedad en los sólidos.....	18
2.4.2.	Secador de bandejas o de armario.....	19
2.5.	Ablandadores	20
2.5.1.	Formulación de ablandadores	20
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
3.1.	Definición operacional de las variables	21

3.2.	Delimitación del campo de estudio	22
3.3.	Recursos humanos disponibles	23
3.4.	Recursos materiales disponibles	23
3.4.1.	Equipo	23
3.4.1.1.	Equipo de medición.....	23
3.4.1.2.	Equipo auxiliar	23
3.4.2.	Materia prima y reactivos	24
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	24
3.5.1.	Diseño general.....	24
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	26
3.6.1.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	26
3.6.1.1.	Determinación del peso inicial y después de la extracción del látex del higo (<i>Ficus carica</i>)	26
3.6.1.2.	Purificación del látex del higo (<i>Ficus carica</i>)	27
3.6.1.3.	Determinación del tiempo de deshidratación del látex del higo (<i>Ficus carica</i>)	28
3.6.1.4.	Determinación del análisis proximal del ablandador cárnico	28
3.6.1.5.	Análisis organoléptico de la aplicación del ablandador a un producto cárnico.....	29
3.6.1.6.	Evaluación de las características físicas del producto cárnico al cual fue aplicado el ablandador	29
3.6.2.	Tablas de tabulación de datos	29

3.7.	Análisis estadístico.....	32
4.	RESULTADOS	35
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	47
	CONCLUSIONES	53
	RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA	57
	APÉNDICES	59
	ANEXOS	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama del diseño experimental	25
2.	Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (<i>Ficus carica</i> L.), secado a presión atmosférica a 35 °C, primera corrida	35
3.	Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (<i>Ficus carica</i> L.), secado a presión atmosférica a 35 °C, segunda corrida.....	36
4.	Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (<i>Ficus carica</i> L.), secado a presión atmosférica a 35 °C, tercera corrida	36
5.	Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (<i>Ficus carica</i> L.), secado a presión atmosférica a 45 °C, primera corrida	37
6.	Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (<i>Ficus carica</i> L.), secado a presión atmosférica a 45 °C, segunda corrida.....	38
7.	Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (<i>Ficus carica</i> L.), secado a presión atmosférica a 45 °C, tercera corrida	38
8.	Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (<i>Ficus carica</i> L.), secado a presión atmosférica a 55 °C, primera corrida	39

9.	Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (<i>Ficus carica</i> L.), secado a presión atmosférica a 55 °C, segunda corrida	40
10.	Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (<i>Ficus carica</i> L.), secado a presión atmosférica a 55 °C, tercera corrida.....	40
11.	Análisis sensorial de la textura de la muestra cárnica con ablandador formulado a base de ficina	41
12.	Análisis sensorial de la textura de la muestra cárnica sin ablandador formulado a base de ficina	42
13.	Análisis sensorial de la aceptación de la muestra cárnica con ablandador formulado a base de ficina	42
14.	Análisis sensorial de la aceptación de la muestra cárnica sin ablandador formulado a base de ficina	43

TABLAS

I.	Clasificación científica del higo	3
II.	Definición operacional de las variables para la extracción y purificación de ficina obtenida del látex del higo (<i>Ficus carica</i>)	21
III.	Formato para la tabulación del tiempo de secado de la ficina	30
IV.	Formato para la tabulación de las características de la ficina extraída del látex del higo (<i>Ficus carica</i>).....	31
V.	Formato para evaluación de las características del producto cárnico después de la aplicación del ablandador	31
VI.	Fórmulas para calcular el Anova.....	32
VII.	Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la segunda curvas de secado a 35 °C.....	43
VIII.	Análisis de la varianza de las curvas de secado a 35 °C	44

IX.	Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la tercera corridas de las curvas de secado a 35 °C	44
X.	Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la segunda curvas de secado a 45 °C	44
XI.	Análisis de la varianza de las curvas de secado a 45 °C.....	45
XII.	Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la tercera corridas de las curvas de secado a 45 °C	45
XIII.	Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la segunda curvas de secado a 55 °C	45
XIV.	Análisis de la varianza de las curvas de secado a 55 °C.....	46
XV.	Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la tercera corridas de las curvas de secado a 55 °C	46

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
bs	Base seca
cm	Centímetro
E	Enzima
°C	Grados Celsius
g	Gramos
Ha	Hipótesis alternativa
Ho	Hipótesis nula
Hr	Humedad relativa
MS	Materia seca
mg	Miligramo
ml	Mililitro
mm	Milímetro
Núm.	Número
Ps	Peso seco
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
P	Productos
MI	Retención de agua
S	Sustrato
USP	United States Pharmacopeial
UV	Ultravioleta

GLOSARIO

Ablandador cárnico	Sustancia empleada en los productos cárnicos hecha a base de enzimas que rompen el tejido conectivo.
Actividad enzimática	Medida de la cantidad de enzima activa presente.
Análisis proximal	Conjunto de métodos que determinan la composición en términos nutricionales de un alimento.
Características organolépticas	Descripciones de las características físicas que tiene la materia en general y que pueden ser percibidas por los sentidos.
Cenizas	Total de minerales contenidos en un alimento después de haber sido calcinado.
Colágeno	Proteína esencial en la formación del tejido conectivo.
Desnaturalización	Cambio estructural de las proteínas, donde pierden su estructura original y su óptimo funcionamiento.

Enzima proteolítica	Enzimas que catalizan la degradación de las proteínas, hidrolizando los enlaces peptídicos con distintos grados de intensidad y de selectividad.
Extracto etéreo	Residuo no volátil resultante de la extracción con éter etílico de la muestra a la que se le aplicó el análisis; se refiere a la grasa cruda.
Extracto libre de nitrógeno	Cantidad de carbohidratos contenidos en un alimento.
Fibra cruda	Residuo libre de cenizas que resulta del tratamiento en caliente con ácidos y bases fuertes de un alimento.
Ficina	Enzima proteolítica comúnmente utilizada en la industria para la elaboración de ablandadores de carne.
Látex	Suspensión acuosa coloidal compuesta de grasas, ceras y diversas resinas gomosas. Obtenida a partir del citoplasma de las células laticíferas presentes en algunas plantas angiospermas y hongos.
Secado	Operación unitaria que consiste en separar líquidos volátiles en pequeñas cantidades de los sólidos.

Tejido conectivo

Proteínas insolubles que integran el estroma que basan su estructura en el colágeno, la elastina y la reticulina.

RESUMEN

Se tiene por objetivo la extracción y purificación de la enzima ficina proveniente del látex del higo (*Ficus carica* L.), para su implementación en un ablandador cárnico, comprobando la viabilidad del aprovechamiento del látex y manteniendo las mismas características organolépticas de los ablandadores convencionales, elaborados a base de bromelina y papaína provenientes de la piña y papaya respectivamente.

Este estudio fue realizado en el Laboratorio de Aseguramiento de Calidad en el Departamento de Desarrollo e Investigación de la empresa Alkemy Guatemala.

Se extrajo el látex del higo (*Ficus carica* L.) por medio de incisiones longitudinales de 3 milímetros de espesor, fue purificada la enzima con el método de precipitación en etanol y deshidratado en un secador de bandejas de flujo transversal para determinar el tiempo de secado del látex hasta obtener una humedad menor al 10 %. Dicho procedimiento se realizó a tres temperaturas 35, 45 y 55 °C.

Una vez obtenida la enzima deshidratada, se implementó en un ablandador cárnico y se evaluaron, por medio de pruebas organolépticas, las características fisicoquímicas del mismo. Las pruebas organolépticas que se realizaron fueron textura y aceptabilidad.

OBJETIVOS

General

Extraer y purificar la enzima ficina proveniente del látex del higo (*Ficus carica*) para su implementación en un ablandador cárnico, y evaluar indirectamente la actividad enzimática por su capacidad de retención de agua.

Específicos

1. Extraer el látex del higo (*Ficus carica* L.) por medio de incisiones longitudinales.
2. Purificar la enzima ficina por medio del método de precipitación en etanol.
3. Determinar el tiempo de secado del látex a 35, 45 y 55 °C para obtener una humedad menor al 10 %.
4. Caracterizar fisicoquímicamente el extracto deshidratado por medio de un análisis proximal.
5. Elaborar un ablandador cárnico, utilizando la enzima ficina extraída del látex del higo (*Ficus carica* L.).

6. Evaluar, por medio de la escala hedónica de 9 puntos, la textura y la aceptabilidad general del producto cárnico en el cual fue aplicado el ablandador.

INTRODUCCIÓN

La higuera es un árbol de porte pequeño que no requiere cuidado exhaustivo, es poco exigente en cuanto a las cualidades del terreno o condiciones climáticas para su desarrollo, lo que la convierte en una plantación accesible para la mayoría de la población guatemalteca. Un arbusto puede producir 50 a 70 frutos semanalmente en plena cosecha.

Los higos aportan gran valor nutricional y medicinal proveniente del alto contenido en fibra, minerales como el potasio, magnesio y calcio, vitaminas, ácidos orgánicos e hidratos de carbono. Adicionalmente, es posible la extracción de la enzima ficina del látex producido del fruto verde de dicho arbusto. La ficina es una enzima proteolítica encargada de desnaturalizar el tejido conectivo de los productos cárnicos, teniendo un efecto suavizante y ablandador en ellos.

Los ablandadores convencionales están fabricados a base de enzimas provenientes de otros frutos como la papaya y la piña. Sin embargo, los subproductos del higo no han sido vistos como una fuente de aprovechamiento industrial y comercial debido a la excentricidad del fruto.

La extracción del látex se realizó por incisiones longitudinales no mayores a 3 mm de espesor, con el objetivo de no mezclarlo con el jugo del fruto. Una vez obtenido el látex, es necesario procesarlo lo antes posible para evitar la disminución de la actividad enzimática, para ello se somete a un proceso de purificación, en este caso una precipitación en etanol y filtración al vacío. Como

alternativa, el látex recién extraído puede ser congelado para su posterior utilización.

Se usó un secador de bandejas de flujo transversal para la deshidratación de la enzima purificada y su consecutiva trituración, para conseguir el aspecto de polvo fino.

Por último, se realizó la formulación que contiene una mezcla de 88 % de cloruro de sodio, 4,5 % de almidón, 4,5 % de ficina, 2 % de citrato de sodio cristalizado y 1 % de glutamato de sodio. Como complemento, se efectuaron evaluaciones físicas para comparar el efecto en el producto cárnico y pruebas organolépticas para medir el grado de aceptación del consumidor.

1. ANTECEDENTES

Con el objetivo de determinar las condiciones de extracción y purificación de la enzima ficina proveniente del látex del higo (*Ficus carica* L.), se buscaron estudios en la biblioteca central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en las bibliotecas de las facultades de Ingeniería, de Agronomía y de Ciencias Químicas y Farmacia.

En el 2000, en la Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina, se realizó el estudio cinético de la actividad proteolítica de la enzima ficina. Se diseñó y construyó, a escala laboratorio, un liofilizador para conservar látex de higuera por largo tiempo y a temperatura ambiente. El objetivo fue determinar la actividad enzimática de la ficina a partir del látex de higuera liofilizado, obteniéndose una concentración de enzima de $1,7 \cdot 10^{-7}$ molar y una constante catalítica de $0,119 \text{ s}^{-1}$, similar a la obtenida por la muestras de látex fresco.

Un estudio importante elaborado por Cristina Elizabeth De La Cruz Guerrero, en el 2011, en la Facultad de Ciencia e Ingeniería de los Alimentos, en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, se enfoca en la extracción, concentración y medida de la actividad enzimática de la ficina obtenida de látex de higo (*Ficus carica*), con el propósito de establecer el proceso de extracción del látex para obtener el mejor rendimiento en función de la actividad enzimática.

En la Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, se realizó un estudio de la extracción de ficina del higo (*Ficus carica* L.) y evaluación de la

actividad enzimática. Dicha actividad se determinó con el método espectrofotométrico AOAC 971,16 actividad proteolítico de la papaína; utilizando el espectrofotómetro UV visible a una longitud de onda de 280 nanómetros. Los resultados muestran un rendimiento de 1,38 % en el sector de La Pradera y 1,72 % en el higo cultivado en El Valle.

Finalmente, la actividad enzimática de la enzima liofilizada obtenida de brevas cultivadas en El Valle e higos cultivados en La Pradera es de 28 299,96 USP/mg y 19 148,87 USP/mg respectivamente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades del higo

El higo es un fruto proveniente de la higuera (*Ficus carica* L.), árbol que pertenece a la familia de las Moráceas. Esta familia consta de más de 1 500 especies de árboles y arbustos que producen látex.

2.1.1. Clasificación científica

Se refiere a la forma en que los biólogos agrupan y categorizan especies extintas y vivas de organismos. La clasificación del higo (*Ficus carica* L.) fue descrita por Carlos Linneo.

Tabla I. **Clasificación científica del higo**

Reino	<i>Plantae</i>
Orden	<i>Rosales</i>
Familia	<i>Moraceae</i>
Tribu	<i>Ficeae</i>
Género	<i>Ficus</i>
Subgénero	<i>Ficus</i>
Especie	<i>Ficus carica</i>

Fuente: Consorcio Centro de Investigación y Formación de Agricultura Ecológica y Desarrollo Rural de Granada. *Catálogo de variedades locales de higuera (Ficus carica L.) de la Sierra de la Contraviesa*. p. 36.

2.1.2. Origen y distribución

Es originaria del medio oriente, Irán y Afganistán, donde se cultiva desde hace miles de años. Se ha extendido a todas las zonas con clima mediterráneo, subtropical o tropical de montaña: India, sur de Estados Unidos, Chile, Australia, entre otros.

2.1.3. Descripción

Es un árbol pequeño que alcanza 7 a 10 metros de altura en su máximo desarrollo, con copa irregular y muy ramificada; la savia es lechosa; las hojas son grandes, divididas en lóbulos desiguales. Las flores son muy particulares en el sentido en que se desarrollan por grupo adentro de un ramo verde, en forma de masa. Este ramo contiene una cavidad en forma de urna, en la cual se desarrollan unas flores minúsculas, hembras, machos e híbridos, y necesitan ser fecundadas por la vía de insectos polinizadores. Las variedades con flores híbridas no necesitan de los insectos.

A partir del ramo con sus flores se forma el fruto, que realmente es un conjunto de frutos, rodeados por el receptáculo llamado higo. Tiene una forma redonda o de pera, de 5-8 centímetro de largo, de color verde o morado según las variedades. La carne del receptáculo es roja.

2.1.4. Variedades

Existen numerosas variedades de higuera, difícilmente distinguidas entre ellas. Se dividen en tres grupos según los tipos de flores.

- Esmirna: tiene flores hombres y necesita ser fecundadas con el polen de una variedad silvestre, el cabrahigo; para esto se necesita la intervención de una avispa pequeña que penetra en la cavidad donde están las flores. Esta avispa se encuentra en el mediterráneo, en donde se puede cultivar la higuera de Esmirna.
- Higos comunes: tienen flores hembra y machos, o híbridas y no necesitan la intervención de insectos; son los más difundidos.
- San Pedro: los higos de San Pedro dan los dos tipos de frutos en dos cosechas separadas.

2.1.5. Climas y suelos

La higuera se acomoda de climas muy cálidos, tropicales y mediterráneos, así como climas templados donde no haya heladas. En el trópico se encuentra desde el nivel del mar hasta cerca de 2 000 metros. Necesita agua para la formación de los frutos, pero se acomoda mal en los climas muy húmedos que favorecen las enfermedades. Las raíces son superficiales y sufren de una sequía excesiva. Necesita suelos muy ricos en materia orgánica, profundos y sobre todo bien drenados; los suelos pesados y mal drenados son muy desfavorables.

2.1.6. Propagación

- Por estacas: la reducción por estacas es muy fácil. Se pueden usar ramas de no más de 2 centímetros de diámetro de madera no verde, la parte terminal de las ramas no sirve. Las estacas deben tener entre 25 y 30 centímetros de largo. Se plantan en canteros o directamente en

bolsas, en tierra ligera bien aireada y drenada. Se hunden las estacas hasta dejar solamente una yema arriba del suelo, la base de las estacas puede llegar hasta casi el fondo de las bolsas y no se deben mojar excesivamente. Si las condiciones están reunidas, las estacas se enraízan y brotan con suma rapidez. En 3 o 4 meses están listas para el trasplante.

- Por acodo: la higuera se reproduce por acodo aéreo, haciendo un anillo de 2 centímetros de largo sobre una rama y envolviéndola con musgo u otro material liviano, un filme de polietileno.
- Por injerto: se usa poco, se practica el parche, el escudete y el injerto de corona.

2.1.7. Plantación

Las higueras deben plantarse entre 3 y 7 metros de distancia. El marco mayor es necesario si los árboles no se van a podar, deben estar a pleno sol. Contrariamente a los otros árboles, se pueden plantar enterrando el cuello, en caso de que se tema la sequía.

2.1.8. Mantenimiento

Poda de formación, en clima tropical. La higuera no necesita mucha poda, sin embargo la poda permite darle 2 formas: porte alto y porte bajo.

Para obtener el porte alto se corta primero el tallo a los dos tercios de su altura, después se dejan desarrollar tres a cinco ramas principales en la parte superior y se eliminan todos los brotes que salen de base. Para que una rama

se desarrolle derecha, se deja la yema terminal y se cortan las yemas laterales. Para provocar la aparición de las ramas laterales, se corta la yema terminal y se dejan las yemas laterales. El porte bajo se obtiene dejando crecer 3 a 8 brotes que salen de la base del tallo y se utilizan como ramas principales, estos brotes deben estar bien espaciados y crecer hacia arriba.

Poda de mantenimiento, en clima favorable, no se práctica mucha poda, solamente se eliminan los chupones y las ramas enfermas para despejar la copa. En climas difíciles se puede aumentar la fructificación de la manera siguiente: cuando aparecen los higos pequeños (yemas redondas y verde oscuro) se eliminan con la uña las yemas de leño situadas al lado de cada higo, así como la yema terminal, solo se dejan dos yemas en la parte baja de la rama que producirán ramas nuevas inmediatamente arriba las dos yemas que se dejaron.

2.1.9. Riego

Como tiene raíces superficiales, la higuera puede sufrir por la sequía, sobre todo durante la formación de los frutos, puede ser necesario practicar riegos.

2.1.10. Arrope

La higuera se beneficia mucho de un arrope de paja, cáscara de arroz u otro material orgánico, desde el tronco hasta más allá de donde llegan las ramas. Esto aumenta el crecimiento y la producción, y es muy recomendable.

2.1.11. Fertilización

La higuera no es muy exigente en fertilización, si las hojas son pequeñas puede ser necesario aportar nitrógeno.

2.1.12. Producción

En buenas condiciones, el árbol comienza a producir a los tres años, para alcanzar su plena producción a los 5 o 6 años. La cosecha dura varios meses; un arbusto puede producir 50 a 70 frutos semanalmente en plena cosecha.

2.1.13. Plagas y enfermedades

Las principales plagas del higo son nemátodos, los barrenadores del tallo (*Balocera* spp.), orugas defoliadoras, cochinillas y moscas de la fruta. La roya (*Ceratium fici*) es la principal enfermedad, provoca manchas marrones en la haz inferior de las hojas y defoliación. Se combate con Zineb y otros fungicidas a base de azufre. La antracnosis (*Sphaceloma fici-caricae*) ataca los frutos, así como hongos de los tipos *Botrytis*, *Alternaria* y *Fusarium*. El mosaico del higo es debido a un virus propagado por insectos.

2.1.14. Nutrición

El higo es rico en muchas vitaminas y sales minerales: calcio, fósforo, hierro, vitamina A y B5, y contiene hasta 20 % de azúcares.

2.1.15. Aplicaciones

El higo se come crudo, seco, en dulce, almíbar y entre la composición de bizcochos, galleta y otras reposterías. Tiene una alta demanda en el mercado.

2.2. Enzimas

Una enzima es una proteína que se combina con uno o más compuestos, de forma que reaccionan específicamente a mucha mayor velocidad que lo que harían sin la enzima. Las enzimas son como las demás proteínas, tienen estructura primaria y se pliegan en una conformación particular, de manera que sus grupos reactivos están dispuestos del modo apropiado para dar al conjunto actividad biológica. Sin embargo, las enzimas difieren de las otras proteínas en que el complejo del compuesto unido y la proteína puede adoptar una nueva configuración, modificándose el compuesto unido y convirtiéndose en un nuevo compuesto cuando abandona la enzima. Entonces, la enzima revierte a su forma original.

Los grupos reactivos de una enzima tienen dos funciones. Una es unir los compuestos particulares en proximidad al sitio donde tiene lugar la catálisis, la enzima tiene así especificidad para un cierto número de compuestos. Algunas enzimas son tan específicas que solamente catalizan la reacción de uno o dos compuestos fisiológicos. Los compuestos que se unen de forma adecuada son los sustratos de la enzima. La especificidad se produce a partir de orientaciones espaciales complementarias entre sustratos y enzima.

La segunda función de los grupos reactivos de la enzima es realizar el mecanismo catalítico. Esto lleva consigo un cambio en la conformación del complejo enzima-sustrato que debilita los enlaces del sustrato, logrando

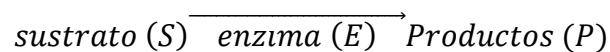
configuraciones más reactivas. La enzima también aporta grupos catalíticos convencionales del tipo que se ven en otras reacciones orgánicas (ácidos generales, bases generales y centros nucleofílicos), pero, además, la enzima tiene la ventaja de tener los grupos químicos cercanos al sustrato respectivo, según un espaciado adecuado.

2.2.1. Especificidad de las enzimas

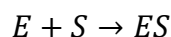
Aunque las enzimas están formadas por grupos químicos prosaicos que se comportan de una forma natural, la catálisis por enzimas difiere de la catálisis ordinaria en importantes aspectos. Al ser proteínas, los grupos reactivos de las enzimas están espaciados según posiciones muy definidas y así, esta especificidad geométrica permite un alto grado más alto de control sobre el proceso catalítico que el observado en los catalizadores ordinarios.

2.2.2. Unión con el sustrato

Los compuestos cuyas reacciones se catalizan por enzima se denominan sustratos de la enzima.



La catálisis enzimática comienza con la formación de enlaces entre el sustrato y la enzima.

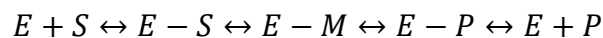


Puesto que los grupos de la enzima que forman los enlaces están fijos en el espacio, resulta que la enzima debe estar construida para reaccionar con

sustratos particulares, su especificidad geométrica determina la especificidad del sustrato. Una enzima puede ser altamente específica, con grupos reactivos con uno o muy pocos compuestos estrechamente relacionados, o puede tener una especificidad amplia, catalizando las transformaciones de una amplia variedad de compuestos que contengan un grupo análogo en una parte de su molécula.

2.2.3. Proceso catalítico

Las enzimas disminuyen la energía de activación y hacen que las reacciones sean más rápidas porque forman un complejo con el sustrato que puede modificar su conformación, estando los enlaces del sustrato en el complejo con una tensión mayor que les hace ser más reactivos. Una configuración del sustrato que es improbable por sí misma puede cambiar a una configuración más favorecida que pueda reaccionar mejor con la enzima. Este intermediario activo puede volver a la conformación original enzima-sustrato, o puede ir hacia un cambio de conformación que tiende a formar un complejo enzima-producto. Una reacción enzimática será así una sucesión de estas etapas reversibles, en la que M es la forma intermediaria del sustrato.



Existen dos razones por las que la formación de enlaces entre enzima y sustrato puede contribuir al mecanismo catalítico. El grupo de la enzima y del sustrato pueden interactuar durante etapas transitorias que pueden considerarse como catálisis verdadera. Los grupos de la enzima pueden también comportarse como participantes en la reacción, con formación de intermediarios covalentes entre el sustrato y la enzima.

2.2.4. Factores que influyen en las enzimas

La eficacia de un enzima se mide por la velocidad de transformación del sustrato en producto. La actividad de las enzimas se ve afectada por diversos factores entre los que destacan pH, temperatura y concentración del sustrato.

2.2.4.1. Efecto del pH

Una enzima típica tiene un pH óptimo, esto es, cataliza su reacción de un modo mucho más efectivo a una cierta concentración de iones de hidrógeno. Hay varias razones para este tipo de conducta. Una es que la velocidad de las reacciones que lleva consigo catálisis ácido-base es dependiente de las concentraciones de las formas ácidas y básicas de los grupos de la enzima y el sustrato, dependiendo del equilibrio entre esas formas de la concentración de iones de hidrógeno. Otro es que la conformación total de la molécula de la enzima necesaria para la catálisis depende, algunas veces, de la existencia de cargas electrostáticas.

2.2.4.2. Efecto de la temperatura

Al aumentar la temperatura, la velocidad de las reacciones catalizadas por enzimas aumenta de modo análogo al de las otras reacciones, pero solo hasta un cierto valor. Más allá de un rango crítico, la temperatura de transición, la actividad de la enzima disminuye rápidamente. No solo las enzimas, sino casi todas las proteínas pierden su conformación fácilmente por encima de ciertas temperaturas. Cuando la energía térmica se hace lo suficientemente grande como para romper unos pocos enlaces, los enlaces próximos se debilitan y la molécula entera se desorganiza. Esta gran pérdida de conformación se conoce como desnaturalización de la proteína.

2.2.4.3. Efecto de la concentración del sustrato

Una enzima funciona de manera más eficiente cuando la concentración de sustrato está en exceso, en relación con la concentración de enzima. Esto se debe a que las colisiones exitosas con el reactivo son más frecuentes, asegurando así que la mayor cantidad de enzima se encuentre activa. En estas condiciones, el producto se obtiene a la mayor velocidad posible para la cantidad de enzima presente. En caso de que la concentración de sustrato sea menor, la velocidad de reacción disminuye.

2.2.4.4. Cuantificación de la actividad enzimática

La potencia o actividad de una enzima no puede medirse en términos de su concentración, ya que puede estar presente en forma desnaturalizada y sin funcionalidad. Por esta razón, se emplea la unidad de actividad enzimática, definida como la cantidad de enzima que se requiere para transformar en producto una micromol de sustrato por minuto, en las condiciones óptimas de pH y temperatura. La concentración de sustrato deberá ser aquella en que la enzima se encuentre actuando con su velocidad máxima, es decir, en condiciones de saturación. Para la determinación se debe medir la velocidad inicial de consumo de sustrato o la aparición de producto bajo condiciones definidas de pH, fuerza iónica y temperatura.

Cuando se quiere saber la proporción de enzima con respecto a todas las proteínas que pueden estar presentes en una preparación, se utiliza la actividad específica, definida como las unidades de actividad de la enzima en relación con la cantidad total de proteína en miligramos; cuanto más pura sea, mayor será la relación de actividad por miligramo de proteína. Esta forma de expresar

la actividad enzimática es de gran utilidad para seguir el grado de purificación de una enzima durante los distintos pasos de su obtención.

2.2.5. Uso industrial de las enzimas

Cada día aumenta el número de reacciones industriales que se efectúan por rutas enzimáticas, principalmente debido a la posibilidad que existe en la actualidad de expresar cualquier gen en microorganismos modificados genéticamente.

El empleo de enzimas tiene muchas ventajas:

- Son muy específicas en su manera de actuar, por lo que no propician reacciones secundarias indeseables.
- Funcionan en condiciones moderadas de temperatura y de pH, y no requieren de condiciones de procesamiento drásticas que puedan alterar la naturaleza del alimento, ni de equipo muy costoso.
- Actúan en muy bajas concentraciones, entre 10^{-8} y 10^{-6} molar.
- Su velocidad puede ser controlada al ajustar el pH, la temperatura y la concentración de enzima.
- Son fácilmente inactivadas una vez alcanzado el grado de transformación deseado.

Una limitante importante para el uso de enzimas es que algunas de ellas son muy caras por su baja disponibilidad. Sin embargo, es conveniente hacer un balance de los costos y las ventajas que trae consigo llevar a cabo una determinada reacción con enzimas, para definir la viabilidad.

Al igual que otro aditivo alimenticio, las enzimas deben cumplir con determinadas especificaciones de calidad, sobre todo en cuanto a su toxicidad, o a la del microorganismo que la produce, en caso de que sean de origen microbiano. Debido a que las enzimas que se emplean en la industria no son puras (resulta muy costoso su purificación completa), es preciso tomar en consideración todos los materiales adicionales que pudiera contener. Por esta razón, una preparación enzimática comercial es en realidad una mezcla de proteínas, entre las que se encuentra la que presenta la actividad deseada.

2.2.6. Proteasas

Las enzimas proteasas, o proteinasas, hidrolizan el enlace peptídico de las proteínas. Existen proteasas comerciales de origen vegetal (papaína, ficina y bromelina), animal (pepsina, tripsina y quimotripsina, renina) y microbianas (de hongos y bacterias).

2.2.6.1. Proteasas de origen vegetal

Son tiol-proteasas y se producen principalmente de papaya (*Carica papaya*), piña (*Anana sativa*), higo (*Ficus carica*, *Ficus glabrata*), alcachofa (*Cynera cardunculus*) y soya (*Soya hispida*).

2.2.6.2. Aplicaciones industriales de las proteasas vegetales

Las proteasas de origen vegetal son muy activas sobre el tejido conectivo de colágena y elastina, y tienen mejor preferencia por las proteínas de las fibras musculares, por lo que uno de sus usos principales es en el ablandamiento de carnes.

Se prefieren las proteasas vegetales sobre las microbianas para esta aplicación, debido a que la especificidad en su modo de acción es inversa, es decir que las microbianas hidrolizan preferentemente las fibras musculares que las del tejido conectivo. Por otra parte, existen en el mercado diversos productos a base de proteasas de origen vegetal, cloruro de sodio y glutamato monosódico que se usan en las cocinas familiares para suavizar la carne. Estas enzimas son adecuadas para este fin, ya que actúan a bajas concentraciones y, además, son muy estables a temperaturas altas.

2.3. Procedimiento de recolección y secado del látex

El látex es recolectado del fruto verde del higo cuando aún está colgado del árbol, haciéndole cuatro o cinco incisiones longitudinales en la cáscara, teniendo cuidado de no incidir más que el pericarpio del fruto. Cuando el látex empieza a fluir es recogido en recipientes amplios y poco profundos, de manera que pueda ser secado fácilmente.

El látex puede ser cosechado de la misma fruta varias veces al volver a realizar las incisiones, pero dejando intervalos de tres a cuatro días para realizarlas. Esto puede perjudicar el aspecto del fruto, pero la calidad del látex sigue manteniéndose.

Se obtiene mayor rendimiento del látex (aproximadamente 0,1 % del peso total del fruto) al realizar la recolección de frutos que provengan de árboles fuertes y en tiempos calurosos, a primeras horas de la mañana.

El látex coagulado debe ser sacado lo antes posible para evitar su descomposición. Para esto pueden utilizarse preservantes y agentes reductores

como el cloruro de sodio y bisulfito de sodio, respectivamente. Cuando el látex ha sido secado y pulverizado se le llama ficina comercial.

2.3.1. Efecto de almacenamiento y secado del látex en la actividad de la ficina

Cuando el látex es almacenado después de haber sido secado, existe la posibilidad de que haya una pérdida de actividad proteolítica de la ficina por almacenamiento. Se ha demostrado que muestras de látex guardadas durante 6 meses a temperatura ambiente han tenido una pérdida del 11 % en la actividad proteolítica.

Al realizar cortes profundos en la fruta verde, se mezcla el jugo de la misma con el látex y se pierde totalmente la actividad proteolítica de la ficina. Sin embargo, al realizar este procedimiento y secar la mezcla a 55 °C, no se da la pérdida de la actividad proteolítica de la enzima. Adicionalmente, el látex puede ser congelado y almacenado antes de su secado sin afectarse la actividad de la ficina.

2.3.2. Extracción y purificación de ficina

Las proteasas podían ser extraídas del jugo exprimido de la cáscara del higo, así como de las hojas y del tronco de la planta.

Las proteasas pueden ser precipitadas por la acidificación (llevando a pH 4 con ácido sulfúrico, ácido acético o ácido clorhídrico) o filtrando el jugo y añadiéndole 5 volúmenes de alcohol al 92 %. El precipitado debe ser secado al vacío rápidamente, por la acción destructora del alcohol. Las enzimas también pueden ser precipitadas por la adición de 2 volúmenes de sulfato de amonio

saturado, dejándolos reposar toda la noche en refrigeración y filtrándolos a la mañana siguiente. Los métodos de precipitación resultan a veces muy caros pero son los más usados comercialmente.

2.4. Operación de secado

Es un procedimiento de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, con base en la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa.

Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa.

2.4.1. Cantidad de humedad en los sólidos

El contenido de humedad de un producto puede expresarse sobre la base del peso húmedo, masa de agua por unidad de masa de producto húmedo, o sobre la base del peso seco, masa de agua por unidad de masa de componentes sólidos desecados.

El contenido de humedad de un sólido o solución generalmente se describe en función del porcentaje en peso de humedad; a menos que se identifique otra cosa, se sobreentiende que está expresado en base húmeda, es decir, como:

$$\% \text{ LOD} = \frac{\text{peso de agua en la muestra}}{\text{peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

2.4.2. Secador de bandejas o de armario

Está formado por una cámara metálica rectangular que contiene unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas poco profundas, montadas unas sobre otras con una separación conveniente que se cargan con el material a secar. Normalmente funciona en régimen intermitente.

Se hace circular aire caliente entre las bandejas por medio del ventilador acoplado al motor, haciéndose pasar previamente por el calentador constituido por un haz de tubos, por cuyo interior circula normalmente vapor de agua. Los tabiques distribuyen uniformemente el aire sobre las pilas de bandejas.

Por medio del conducto de salida se evacúa continuamente aire húmedo y a través de la abertura de entrada penetra aire fresco. Al final del ciclo de secado, normalmente largo, se saca de la cámara al conjunto de los bastidores para proceder a la descarga del producto seco y a una nueva carga.

Cuando las características del material y su manejo lo permite, se utilizan bandejas perforadas en las que el aire circula a través de la capa de sólidos, con lo que se consigue aumentar la superficie de sólido expuesta a la acción del aire y disminuyendo consiguientemente la duración del ciclo de secado.

El secado de este equipo puede ser:

- De flujo horizontal, si el aire circula paralelamente al lecho a secar.
- De flujo transversal, si el aire circula perpendicularmente al lecho a secar.

Los rendimientos térmicos de este tipo de secador suelen estar comprendidos entre el 20 y el 50 %.

Los secadores de bandejas son útiles para secar pequeñas cargas de productos valiosos. En general, se aplican cuando la capacidad necesaria no excede de 50 kilogramos por hora de producto seco.

2.5. Ablandadores

Son sustancias elaboradas de enzimas de frutas, entre ellos están: bromelina, ficina, papaína y enzimas proteolíticas de origen fúngico. Estas sustancias estimulan la maduración y aumentan la suavidad de la carne. Las carnes a las que se aplican deben consumirse realizando un tratamiento térmico por calentamiento.

2.5.1. Formulación de ablandadores

Los ablandadores cárnicos contienen una mezcla de 88 % de cloruro de sodio (como sustancia portadora), 4,5 % de almidón (para hacerla más espolvoreable), 4,5 % de ficina, 2 % de citrato de sodio cristalizado y 1 % de glutamato de sodio.

La aplicación puede efectuarse por inmersión o dispersión con soluciones acuosas o hidroalcohólicas de 2 a 5 % de la enzima.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Definición operacional de las variables

Las variables se definieron en función de los factores estrictamente medibles y se clasificaron según la dependencia o independencia del proceso.

Tabla II. **Definición operacional de las variables para la extracción y purificación de ficina obtenida del látex del higo (*Ficus carica*)**

Núm.	Variable	Unidades	Descripción
Variables independientes			
1	Masa	Gramos	Masa del fruto y del látex extraído
2	Temperatura	°C	Temperatura de secado
3	Tiempo	Minutos	Tiempo requerido para el secado
4	Humedad relativa	%	Contenido de humedad del producto a secar
Variables dependientes			
1	Retención de agua	ml	Cantidad de agua retenida en el producto cárnico.
2	pH	pH	Concentración de [H ⁺] en el látex y en el producto cárnico.

Continuación de la tabla I.

3	Humedad relativa	%	Contenido de humedad del producto secado
4	Materia seca total	%	Contenido de sólidos totales
5	Extracto etéreo	%	Contenido de grasa cruda
6	Fibra cruda	%	Contenido de fibra cruda
7	Proteína cruda	%	Contenido de proteína proteolítica, ficina
8	Cenizas	%	Contenido de minerales
9	Extracto libre de nitrógeno	%	Contenido de carbohidratos

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Área: operaciones unitarias, química, tecnología de alimentos.
- Proceso: secado, pulverizado, purificado, análisis proximal.
- Ubicación: se realizará en el LIEXVE, ubicado en el edificio T-5 Ciudad Universitaria, zona 12.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Alejandra María Chew Aldana.
- Asesores: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales e Ing. Qco. Mario José Mérida Meré.
- Colaboradores: Ing. Qco. Vladimir Iván Pérez Soto.

3.4. Recursos materiales disponibles

Se dispuso de 1 000 frutos de higo (*Ficus carica* L.) para la extracción y purificación del látex en el laboratorio de aseguramiento de calidad del Departamento de Desarrollo e Investigación de la empresa Alkemy Guatemala. El fruto fue obtenido de la Escuela Nacional Central de Agricultura, ENCA, ubicada en Bárcenas Villa Nueva.

3.4.1. Equipo

Se utilizaron todos los equipos disponibles en el Laboratorio de Aseguramiento de Calidad del Departamento de Desarrollo e Investigación de la empresa Alkemy Guatemala.

3.4.1.1. Equipo de medición

- Balanza de humedad
- Balanza analítica

3.4.1.2. Equipo auxiliar

- Centrifugadora

- Canastas
- Secador de bandejas
- Molino de martillos

3.4.2. Materia prima y reactivos

- Higo
- Cloruro de sodio
- Almidón
- Citrato de sodio cristalizado
- Glutamato de sodio
- Carne de res

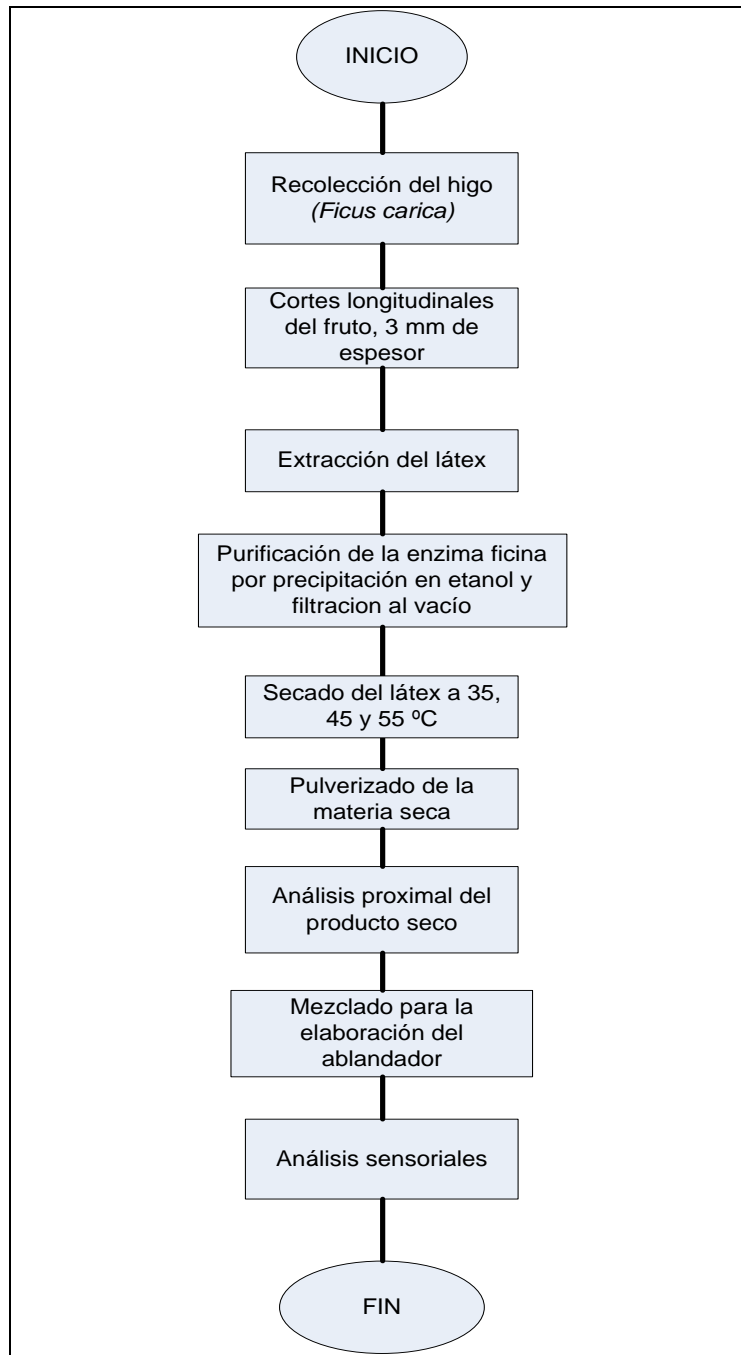
3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

El proceso de extracción de la enzima ficina proveniente del látex del higo se llevó a cabo por medio de incisiones longitudinales en el fruto y se purificó por medio del método de precipitación en etanol, para posteriormente secar el látex en un secador de bandejas de flujo transversal y formular el ablandador cárnico.

3.5.1. Diseño general

El diseño experimental se desarrolló identificando y cuantificando las variables operacionales vinculadas a una variable respuesta o causa, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés.

Figura 1. Diagrama del diseño experimental



Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La aplicación de la enzima ficina en un ablandador cárnico extraída del látex del higo (*Ficus carica* L.) y purificada por precipitación en etanol y filtrado al vacío. Se realizó por medio de una muestra de 1 000 higos que se separaron en muestras más pequeñas de 110 higos para realizar la experimentación a las tres temperaturas establecidas, 35, 45 y 55°C. Al producto final se le efectuaron 7 pruebas químicas (porcentaje de humedad relativa, materia seca total, extracto etéreo, fibra cruda, proteína cruda, cenizas y extracto libre de nitrógeno) para su caracterización. Adicionalmente, se le realizó una evaluación organoléptica utilizando como herramienta estadística una prueba hedónica para determinar la aceptación del producto comercialmente.

3.6.1. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

El ordenamiento de los datos como el procesamiento realizado, se hizo estadísticamente, partiendo desde la obtención de materia prima hasta los análisis organolépticos.

3.6.1.1. Determinación del peso inicial y después de la extracción del látex del higo (*Ficus carica*)

- Procedimiento
 - Lavar la materia prima con agua y escurrir hasta que no tengan agua en exceso.

- Rotular cada muestra de higo con una numeración específica, indicando el código a utilizar.
 - Tomar el peso de cada higo en una balanza analítica y anotar los datos.
 - Realizar 5 incisiones de no más de 3 mm de espesor en cada una de las muestras de higo.
 - Dejar reposar durante 1 hora y recibir el látex en recipientes de vidrio previamente esterilizados.
 - Realizar nuevamente incisiones en la muestra en espacios donde no se habían hecho y dejar reposar durante otra hora.
 - Retirar las muestras de higos y tomar su peso en una balanza analítica, anotar los datos.
- Material y equipo
 - Balanza analítica, 0,01g.
 - 10 recipientes de vidrio, previamente esterilizados.
 - Muestras de 85 higos previamente lavados.
 - Agua desmineralizada.

3.6.1.2. Purificación del látex del higo (*Ficus carica*)

Se purifica la ficina por precipitación con etanol, redisolución en agua, nueva precipitación con etanol y filtración al vacío; con un rendimiento de unos 11-12 g de polvo a partir de 100 ml de látex.

3.6.1.3. Determinación del tiempo de deshidratación del látex del higo (*Ficus carica*)

- Procedimiento
 - Pesar la muestra de látex a secar.
 - Fijar el secador a las temperaturas establecidas, 35, 45 y 55 °C.
 - Colocar las muestras dentro del secador y proceder a secar.
 - Luego de 10 minutos del proceso de secado, sacar la muestra y pesarla de nuevo.
 - Repetir el procedimiento anterior con intervalos de 10 minutos hasta que el peso de la muestra sea constante.
 - Repetir el procedimiento para las tres corridas a las tres temperaturas establecidas.

- Material y equipo
 - Secador de bandejas
 - Cronómetro
 - Balanza analítica

3.6.1.4. Determinación del análisis proximal del ablandador cárnico

La determinación cuantitativa del valor nutricional del ablandador se realizó por medio del análisis proximal y se realizó en el Laboratorio de Bromatología del Centro de Investigaciones de Alimentos de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.6.1.5. Análisis organoléptico de la aplicación del ablandador a un producto cárnico

Para esto se utilizó la escala hedónica de 9 puntos, en donde se calificaron atributos como textura y aceptabilidad en general, comparándolo con un producto cárnico al cual no se le aplicó el ablandador (ver apéndice 5).

3.6.1.6. Evaluación de las características físicas del producto cárnico al cual fue aplicado el ablandador

Se realizó una comparación de retención de agua y pH a dos muestras cárnicas, a una de ellas se le aplicó el ablandador y la otra muestra permaneció en las condiciones iniciales.

3.6.2. Tablas de tabulación de datos

Se recolectó y organizó la información y datos experimentales en tablas que facilitarán su lectura y comprensión.

Tabla III. Formato para la tabulación del tiempo de secado de la ficina

		1ra. corrida	2da. corrida	3ra. corrida
Temperatura °C	Tiempo (horas)	Humedad (g de látex*100/g masa inicial)	Humedad (g de látex*100/g masa inicial)	Humedad (g de látex*100/g masa inicial)

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Formato para la tabulación de las características de la ficina extraída del látex del higo (*Ficus carica*)**

Descripción de la muestra	Base	Agua %	Materia seca total %	Grasa cruda %	Fibra cruda %	Proteína cruda %	Cenizas %	Extracto libre de nitrógeno %
Muestra de ficina	Seca							
	Como alimento							

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Formato para evaluación de las características del producto cárnico después de la aplicación del ablandador**

Característica física	Producto cárnico con ablandador	Producto cárnico sin ablandador
Retención de agua (% en peso)		
pH		

Fuente: elaboración propia.

3.7. Análisis estadístico

Se realizó el secado a temperaturas de 35, 45 y 55 °C, para cada una de ellas se llevaron a cabo 3 corridas. Para determinar cuál de las tres corridas muestra mejor actividad enzimática de ficina, se correlacionaron con la cantidad de agua retenida al producto final.

El análisis de la varianza (Anova) determinó si las muestras provenían de poblaciones con el mismo promedio, o que al menos una de ellas provenía de una población con un promedio diferente. El uso de este instrumento estadístico depende de la cantidad y nivel de medición de las variables independientes, de si el diseño es de grupos independientes, de medidas repetidas o ambas.

Tabla VI. Fórmulas para calcular el Anova

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	CONTRA STE
ENTRE TRATAMIENTOS	$S_T = \sum_i^k n_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y})^2$	$v_T = k - 1$	$s_T^2 = \frac{S_T}{k - 1}$	$\frac{s_T^2}{s_R^2}$
DENTRO DE TRATAMIENTOS	$S_R = \sum_i^k \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$	$v_R = N - k$	$s_R^2 = \frac{S_R}{N - k}$	
TOTAL EN RELACIÓN A LA MEDIA GENERAL (VT)	$S_D = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 - N\bar{y}^2$	$v_D = N - 1$	$s_D^2 = \frac{S_D}{N - 1}$	

Fuente: WALPOLE, Ronald E. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. p. 510.

Denominando S a la suma de los cuadrados, se tiene:

$$S_R^2 = \frac{S_R}{N - k}$$

$$S_T^2 = \frac{S_T}{k - 1}$$

Si S_d es la suma de los cuadrados con respecto a la media global, el estadístico S_D^2 es también un estimado de σ^2 si se cumplen las hipótesis de igualdad de medias:

$$S_D^2 = \frac{\sum_i^k \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2}{N - 1} = \frac{S_D}{N - 1}$$

Es fácil comprobar que se verifica la siguiente igualdad:

$$S_D = S_R + S_T$$

En cuanto a los grados de libertad:

$$v_D = v_R + v_T, \text{ es decir } N - 1 = (N - k) + (k - 1)$$

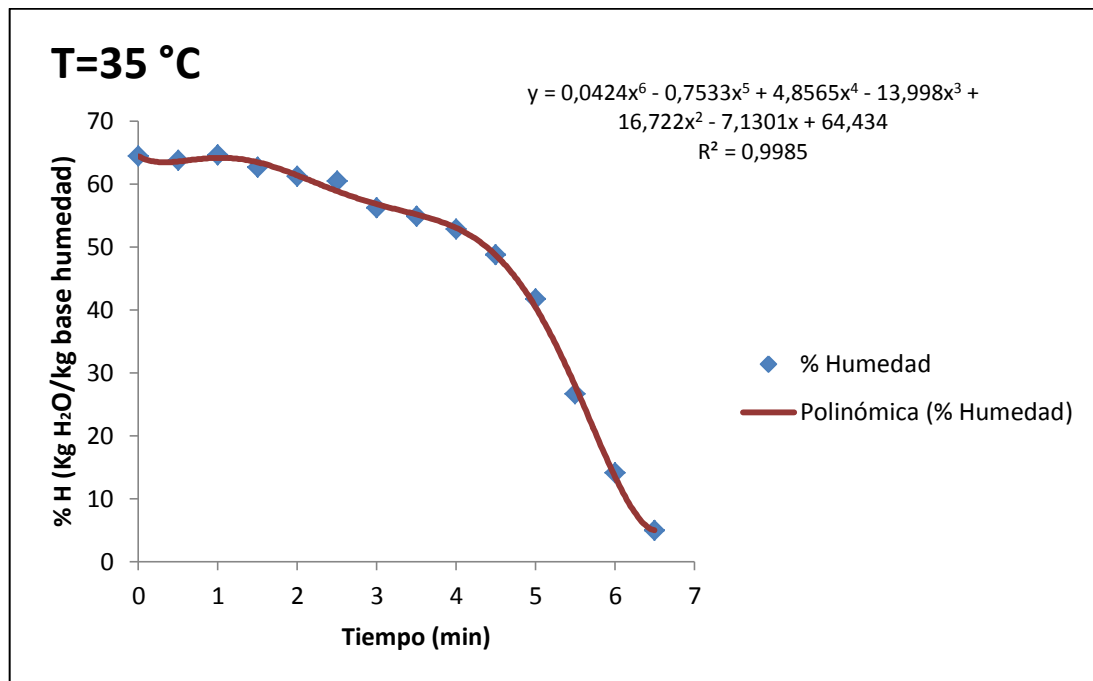
S_D se denomina también suma corregida de cuadrados y se calcula fácilmente mediante la siguiente ecuación:

$$S_D = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 - N\bar{y}^2$$

4. RESULTADOS

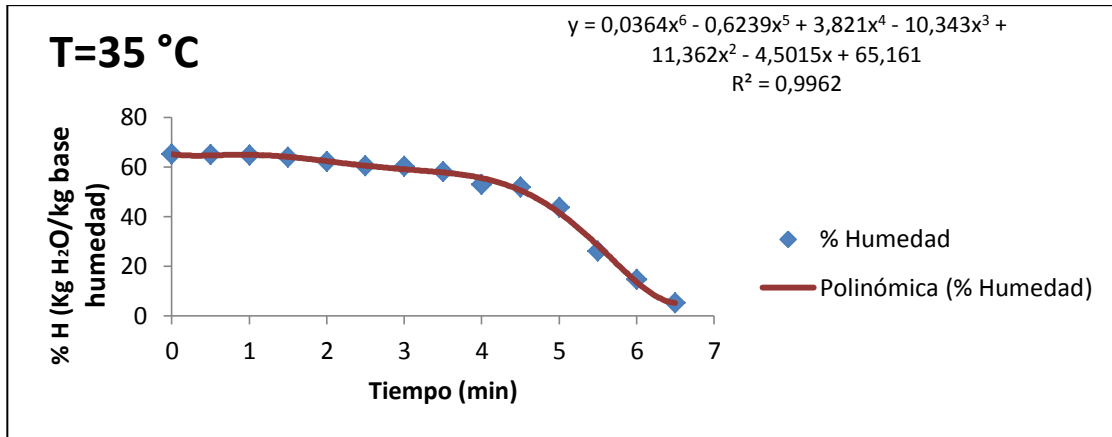
Los resultados obtenidos se muestran en un orden lógico según el planteamiento del diseño metodológico.

Figura 2. **Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (*Ficus carica* L.), secado a presión atmosférica a 35 °C, primera corrida**



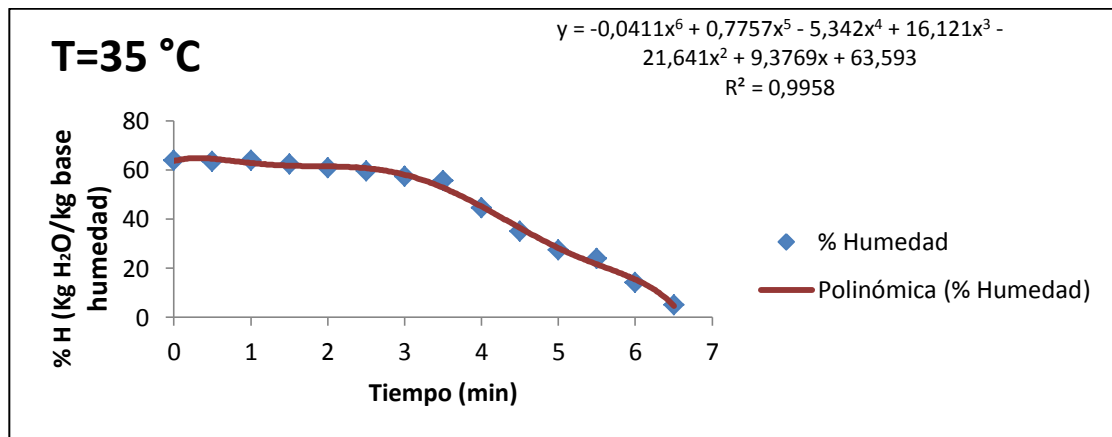
Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (*Ficus carica* L.), secado a presión atmosférica a 35 °C, segunda corrida**



Fuente: elaboración propia.

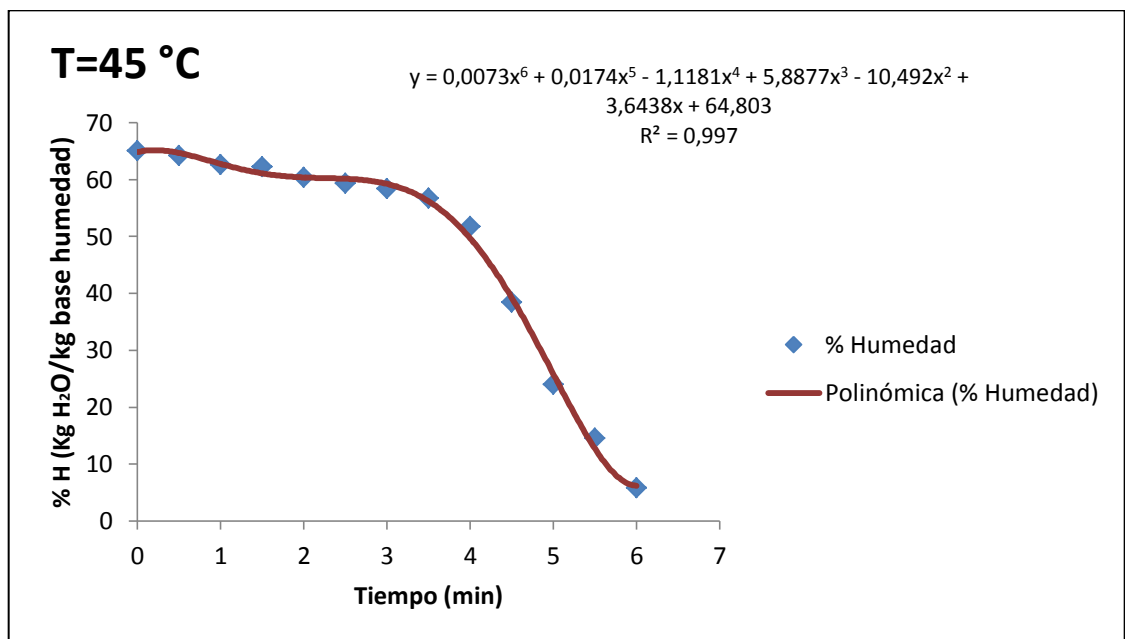
Figura 4. **Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (*Ficus carica* L.), secado a presión atmosférica a 35 °C, tercera corrida**



Fuente: elaboración propia.

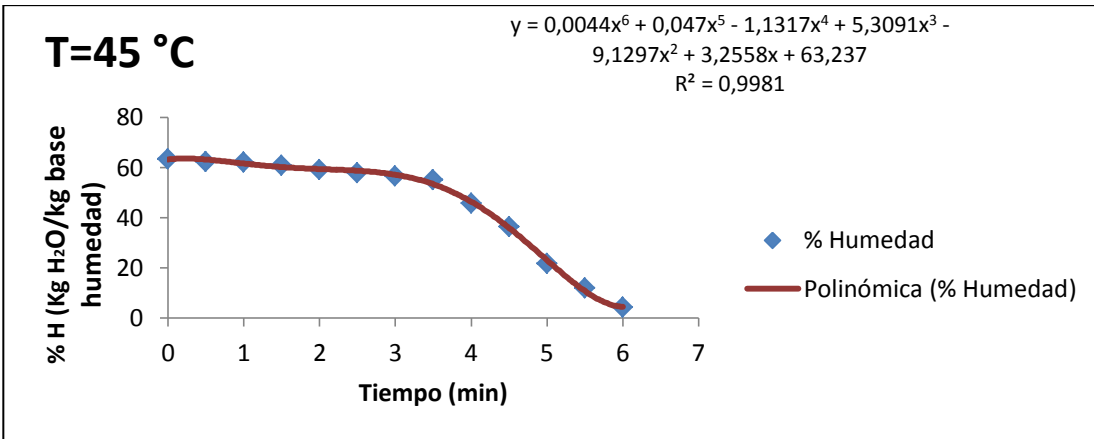
Las figuras 2, 3 y 4 reflejan un tiempo de secado aproximado de 6,5 horas, a una temperatura de secado de 35 °C, para obtener una humedad relativa menor al 10 %. Las tres curvas presentan un coeficiente de correlación de 0,99, indicando una relación directa entre las variables cuantitativas. Las líneas de tendencia son polinómicas de sexto grado.

Figura 5. **Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (*Ficus carica* L.), secado a presión atmosférica a 45 °C, primera corrida**



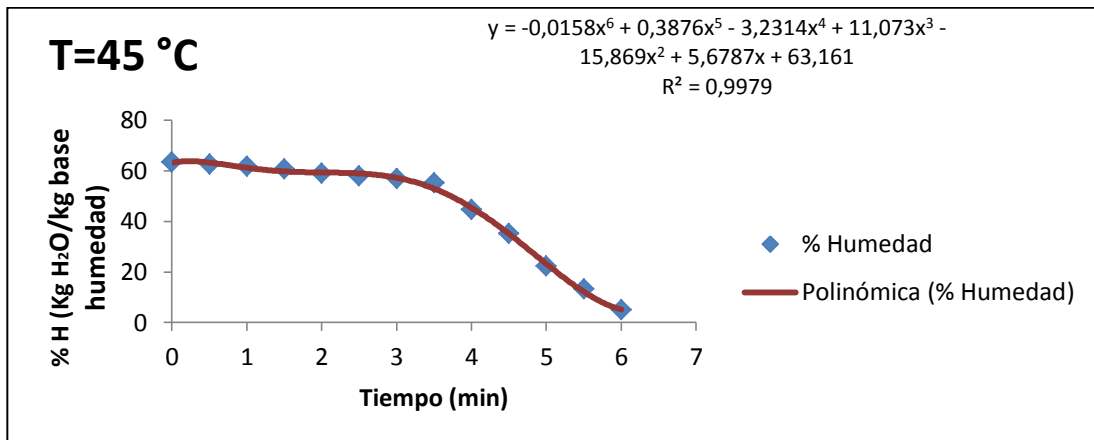
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (*Ficus carica* L.), secado a presión atmosférica a 45 °C, segunda corrida**



Fuente: elaboración propia.

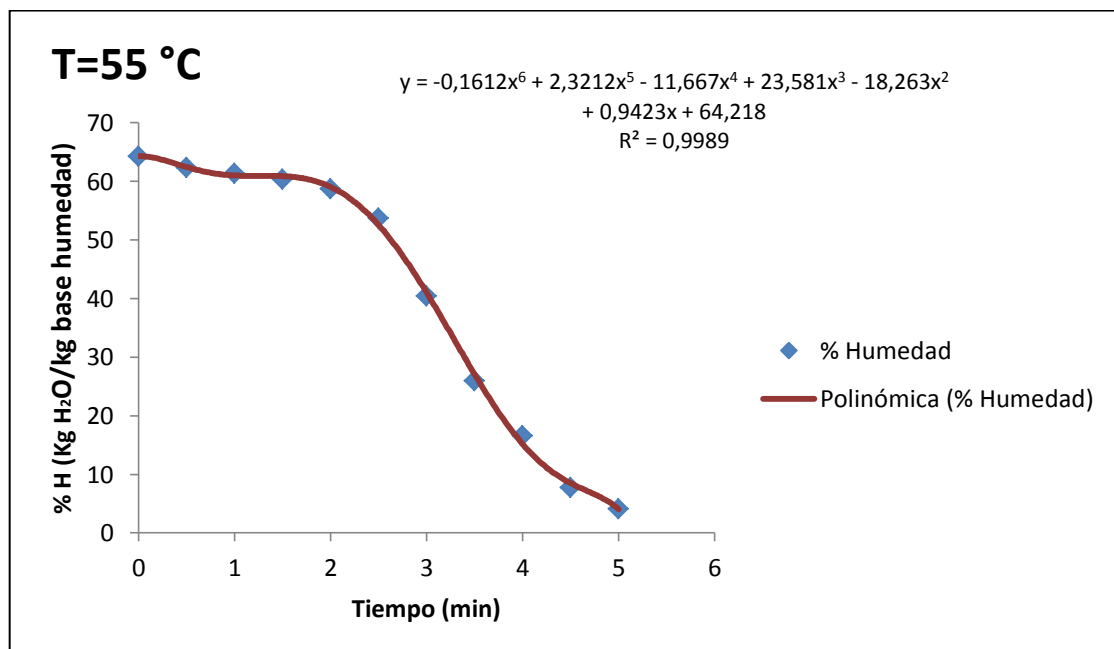
Figura 7. **Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (*Ficus carica* L.), secado a presión atmosférica a 45 °C, tercera corrida**



Fuente: elaboración propia.

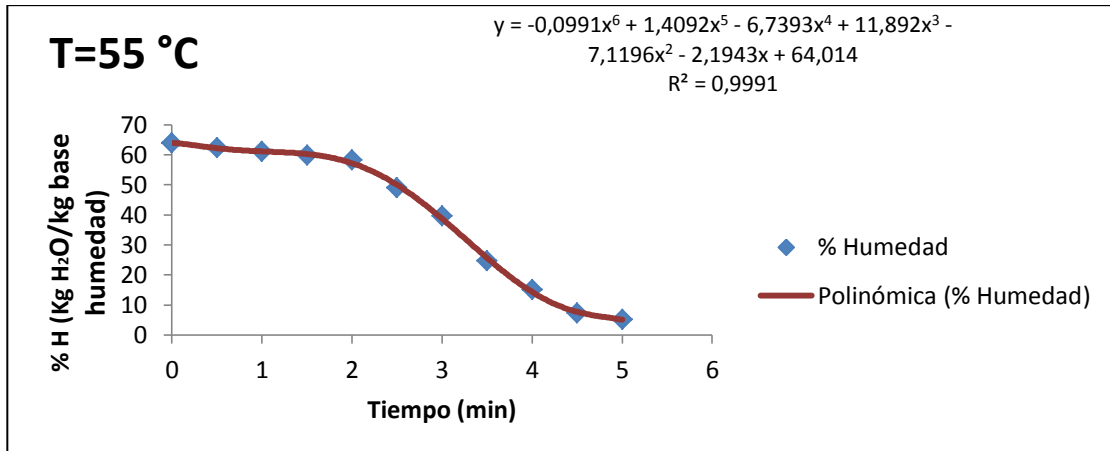
Las figuras 5, 6 y 7 reflejan un comportamiento polinomial de sexto grado y un coeficiente de correlación de 0,99 y un tiempo de secado aproximado de 6 horas, a una temperatura de secado de 45 °C, para obtener una humedad relativa menor al 10 %. En comparación con las curvas de secado a 35 °C, estas muestran 30 minutos adicionales de secado y una curva con mayor pronunciación.

Figura 8. **Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (*Ficus carica* L.), secado a presión atmosférica a 55 °C, primera corrida**



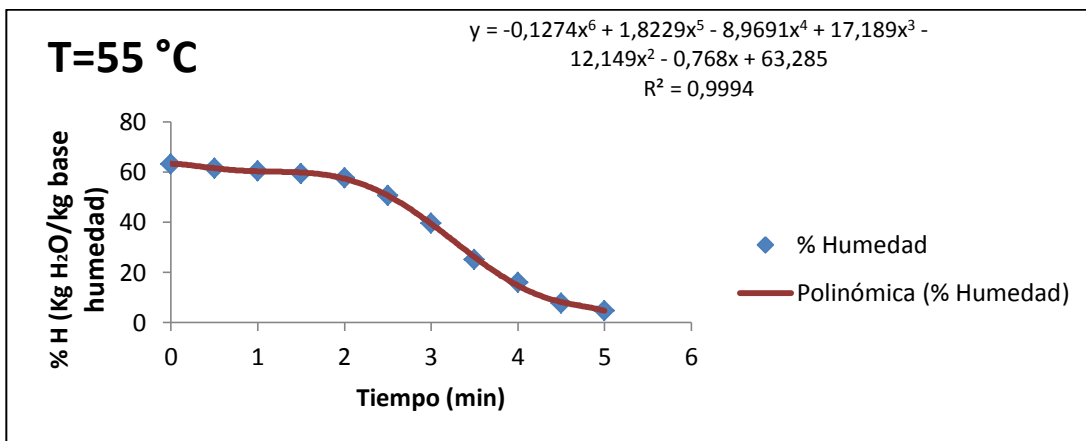
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (*Ficus carica* L.), secado a presión atmosférica a 55 °C, segunda corrida**



Fuente: elaboración propia.

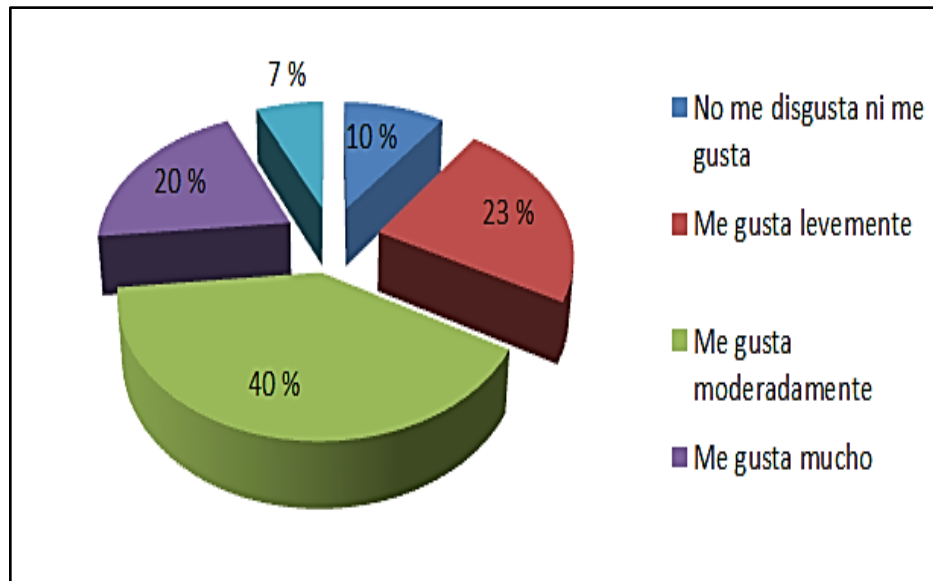
Figura 10. **Correlación de pérdida de agua en función del tiempo, del látex obtenido del higo (*Ficus carica* L.), secado a presión atmosférica a 55 °C, tercera corrida**



Fuente: elaboración propia.

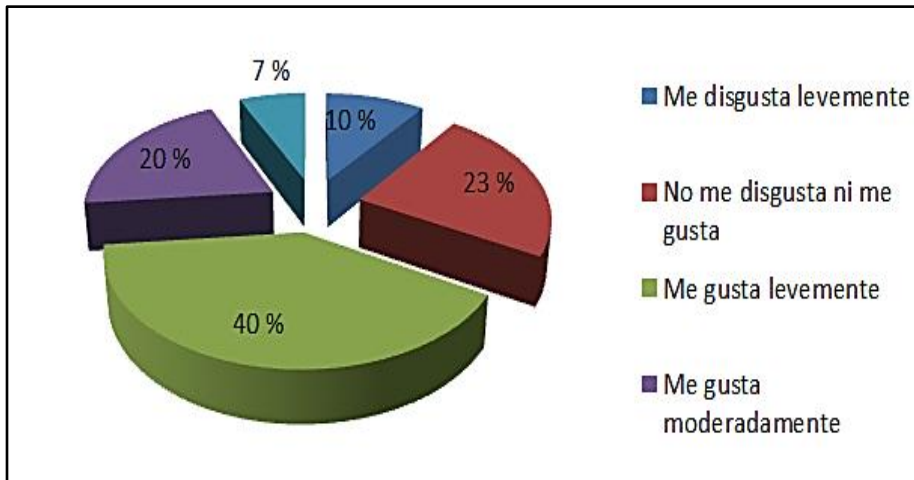
Las figuras 8, 9 y 10 reflejan un comportamiento polinomial de sexto grado y un coeficiente de correlación de 0,99 y un tiempo de secado aproximado de 5 horas, a una temperatura de secado de 55 °C, para obtener una humedad relativa menor al 10 %.

Figura 11. **Análisis sensorial de la textura de la muestra cárnica con ablandador formulado a base de ficina**



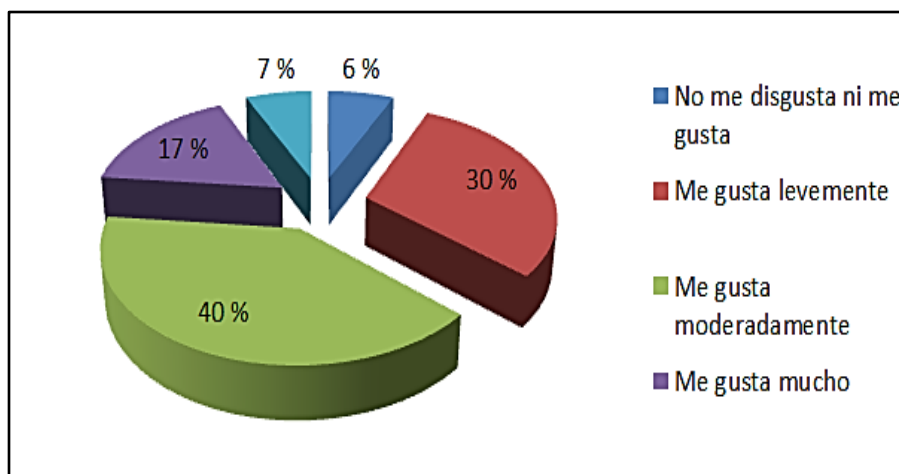
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Análisis sensorial de la textura de la muestra cárnica sin ablandador formulado a base de ficina**



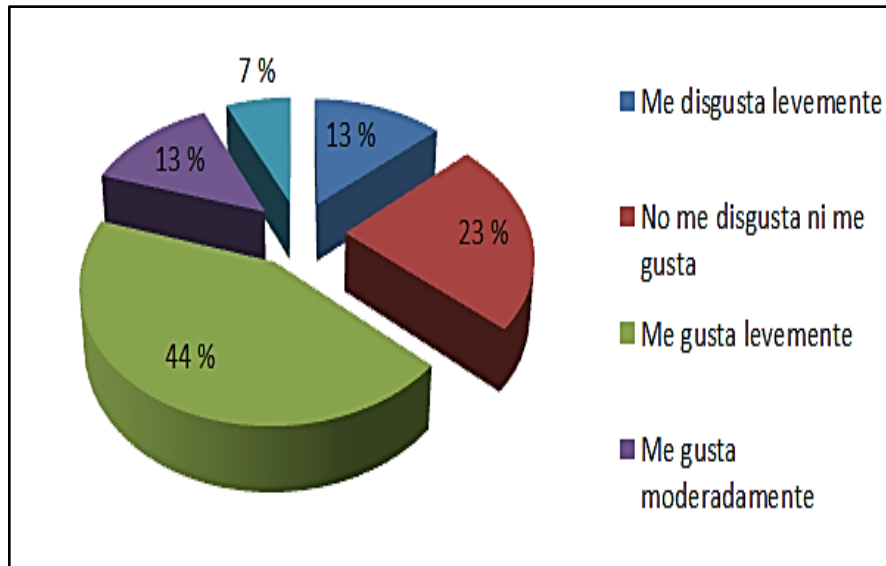
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Análisis sensorial de la aceptación de la muestra cárnica con ablandador formulado a base de ficina**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Análisis sensorial de la aceptación de la muestra cárnica sin ablandador formulado a base de ficina**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la segunda curvas de secado a 35 °C**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	0	0,00	0,00	>0,9999
Analista	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	5 181,84	13	398,6		
Total	5 181,84	13			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Análisis de la varianza de las curvas de secado a 35 °C**

Variable	N	R²	R² AJ	CV
Medidas	14	0,00	0,00	45,18

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la tercera corridas de las curvas de secado a 35 °C**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	0	0,00	0,00	>0,9999
Analista	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	5 498,40	13	382,62		
Total	5 498,40	13			

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la segunda curvas de secado a 45 °C**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	0	0,00	0,00	>0,9999
Analista	0,00	0	0,00	sd	Sd
Error	5 165,06	12	430,42		
Total	5 165,06	12			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Análisis de la varianza de las curvas de secado a 45 °C**

Variable	N	R ²	R ² AJ	CV
Medidas	13	0,00	0,00	44,45

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la tercera corridas de las curvas de secado a 45 °C**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	0	0,00	0,00	>0,9999
Analista	0,00	0	0,00	sd	Sd
Error	5 013,33	12	417,78		
Total	5 013,33	12			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la segunda curvas de secado a 55 °C**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	0	0,00	0,00	>0,9999
Analista	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	5 450,65	10	545,06		
Total	5 450,65	10			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis de la varianza de las curvas de secado a 55 °C**

Variable	N	R²	R² AJ	CV
Medidas	11	0,00	0,00	57,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Cuadro de análisis de la varianza de la primera y la tercera corridas de las curvas de secado a 55 °C**

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	0	0,00	0,00	>0,9999
Analista	0,00	0	0,00	sd	sd
Error	5 329,92	10	532,99		
Total	5 329,92	10			

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo principal del estudio fue extraer y purificar la enzima ficina proveniente del látex del higo (*Ficus carica* L.) para su implementación en un ablandador cárnico, determinar la actividad enzimática indirectamente por su capacidad de retención de agua y, posteriormente, evaluar la textura y la aceptabilidad general del producto cárnico en el cual fue aplicado el ablandador.

El higo se destaca por su alto valor nutricional y es una rica fuente de fibra dietética, proteínas, minerales y vitaminas. No obstante, este estudio estará enfocado en el látex, puesto que contiene, además de caucho, resina, albúmina, cerina, azúcar y ácido málico, enzimas proteolíticas como la ficina, que se utiliza para ablandar la carne, reacondicionar la grasa y aclarar las bebidas.

El grado de madurez del fruto es sumamente importante para que la extracción de dicha sustancia sea máxima, la cual debe realizarse cuando el higo se encuentra verde, puesto que en esta etapa de crecimiento es cuando se obtiene la mayor cantidad. El látex puede ser obtenido del mismo fruto varias veces, realizando los cortes cuando el fruto se encuentra aún colgado del árbol, pero es necesario dejar días de por medio para realizar la incisiones nuevamente.

La extracción del látex del higo se realizó con incisiones longitudinales de no más de 3 mm de espesor y se dejó reposar durante 1 hora. El látex fue recolectado en recipientes esterilizados para luego purificarlo por precipitación en etanol y filtración al vacío. El tiempo en el que se realizó el procedimiento no

excedió una hora, puesto que la estructura proteica es la que determina la actividad enzimática y cualquier alteración de las condiciones físicas puede afectar de tal forma que desnaturaliza la enzima perdiendo por completo su efecto. Estas alteraciones pueden ser cambios de temperatura, pH, entre otras.

Se realizaron nuevamente incisiones en los sectores limpios del higo. Con el objetivo de extraer la mayor cantidad de látex, se dejó reposar nuevamente durante una hora.

Luego de obtener el látex, se procedió a secarlo. Se realizaron variaciones en las temperaturas de secado con el propósito de determinar la temperatura óptima en la que se perdía la menor actividad enzimática. Esta actividad fue posteriormente medida de forma indirecta según la capacidad de retención de agua en muestras cárnicas.

Se realizaron tres corridas a cada temperatura, 35, 45 y 55 °C, utilizando un secador de bandejas de flujo transversal. Se determinó el tiempo de secado hasta obtener una humedad relativa menor al 10 % en cada muestra. Para 35 °C se obtuvo un tiempo promedio de 6,5 horas, 6 horas para una temperatura de 45 °C y para 55 °C un tiempo promedio de 5 horas.

Las figuras 2, 3 y 4, curvas de secado a 35 °C, reflejan un tiempo de secado aproximado de 6,5 horas para alcanzar una humedad relativa menor al 5 %. En las tres corridas se observan cambios no mayores a un 10 % en la humedad relativa durante las primeras cuatro horas de secado, no obstante, a partir de la cuarta hora la pérdida de humedad en cada intervalo de 30 minutos es mayor al 20 %. Esto se debe a que existen dos fases en el proceso, la primera es la etapa de velocidad constante de secado y la segunda es la etapa de velocidad decreciente de secado. Durante la primera etapa la humedad se

vaporiza de la superficie del sólido y se transporta desde el interior hacia la superficie del mismo, mientras que durante la segunda etapa el equilibrio es alcanzado y la película de humedad en la superficie ha sido tan reducida por evaporación que la velocidad de secado es más influenciada por la conducción de calor.

Para una temperatura de 45 °C se observa que la velocidad constante de secado tiene una duración de 4 horas, logrando perder en promedio el 20 % de la humedad total de la muestra. No obstante, durante las siguientes dos horas se reflejan pérdidas de más del 14 % de humedad en intervalos de 30 minutos, hasta alcanzar una humedad relativa promedio en las tres corridas de 4,9 %.

El tiempo promedio de secado para las tres corridas a una temperatura de 55 °C fue de 5 horas, obteniendo pérdidas de agua menores a 11 % en las primeras 2,5 horas y variaciones de humedad mayor al 20 % en cada intervalo de una hora, posterior a las primeras dos horas y media de secado.

Se utilizaron las muestras de ficina que alcanzaron menor humedad en cada una de las corridas a las tres temperaturas para realizar las pruebas de retención de agua. Las muestras fueron rotuladas según la temperatura a la que se obtuvo la ficina, 1 (35 °C), 2 (45 °C) y 3 (55 °C).

Se cortaron 6 muestras cárnicas de 2 x 2 cm y se pesaron. Fueron separadas en tres parejas, a una de las muestras de cada pareja se le aplicó 1 g de ficina pura 1, 2 y 3 respectivamente, a la otra muestra de cada pareja no le fue agregado ningún ingrediente. Se dejó reposar durante 1 hora sobre una bandeja de rejilla para evacuar el agua drenada.

Luego de transcurrida 1 hora se tomaron los pesos de todas las muestras, obteniéndose un 96,37 % de retención de agua para la muestra 1, 94,39 % para la muestra 2 y 93,98 % para la muestra 3.

El porcentaje de retención de agua fue mayor para la ficina secada a 35 °C, lo que indirectamente refleja mayor actividad enzimática; esta disminuyó con el aumento de la temperatura de secado de la ficina.

El incremento de la temperatura aumenta la energía cinética de las moléculas y se desorganiza la envoltura acuosa de las proteínas, causando desnaturalización. La mayoría de las proteínas pierden su función biológica cuando están desnaturalizadas y ello se refleja, en este caso, en la capacidad de retención de agua de la enzima.

La medición indirecta de la actividad enzimática refleja que a temperaturas mayores a 35 °C, la enzima ficina pierde parcialmente su función.

En el caso de la ficina secada a 45 °C, la desnaturalización de la enzima fue más lenta, por lo que el tiempo de secado no fue suficiente para completar el proceso y se alcanzó 93,98 % de retención de agua en la muestra cárnica.

Luego de definir la muestra de ficina con mayor actividad enzimática, ficina secada a 35 °C, se procedió a formular el ablandador cárnico. Se realizó la formulación conteniendo 88 % de cloruro de sodio, 4,5 % de almidón, 4,5 % de ficina, 2 % de citrato de sodio cristalizado y 1 % de glutamato de sodio.

Se le realizó un análisis químico proximal al ablandador cárnico, dicho análisis reflejó que la muestra contenía un 0,30 % de grasa cruda, 0,14 % de fibra cruda, 89,46 % de cenizas, 7,60 % de extracto libre de nitrógeno y 2,49 %

de proteína cruda, evidenciando los porcentajes de los ingredientes aplicados en la formulación del ablandador.

Para evaluar el producto, se utilizó la escala hedónica de 9 puntos como medición sensorial, en la cual se le pidió al consumidor que midiera el nivel de agrado o desagrado con respecto al producto a través de una escala verbal-numérica. Se tomó una muestra de 30 personas y se evaluó la textura y aceptación del producto cárnico al cual se le añadió el ablandador formulado y se comparó con uno sin la aplicación del mismo.

Se obtuvo un 68,6 % de aceptación del producto cárnico con ablandador en comparación de un 57,6 % para el producto sin ablandador. Para la evaluación de textura se alcanzó 69 % y 59 % de aprobación para el producto con ablandador y sin ablandador respectivamente.

CONCLUSIONES

1. El menor tiempo de secado para obtener una humedad relativa por debajo del 10 % es de 55 °C, sin embargo a esta temperatura se pierde la actividad enzimática.
2. La temperatura de secado que mantiene activa la enzima proteolítica ficina proveniente de higo (*Ficus carica*) es 35 °C.
3. Se obtuvo un 96,37 % de retención de agua para la muestra cárnica con ficina secada a 35 °C, 94,39 % para la muestra cárnica con ficina secada a 45 °C y 93,98 % para la muestra cárnica con ficina secada a 55 °C.
4. La actividad enzimática de la ficina obtenida de higo (*Ficus carica*) disminuye cuando es sometida a temperaturas mayores a 35 °C.
5. El producto cárnico con ablandador obtuvo una aprobación en el análisis sensorial de textura de 69 % en comparación con el producto sin ablandador que obtuvo 59 %.
6. La aceptación de producto cárnico al cual se le añadió el ablandador formulado con ficina obtenida del higo (*Ficus carica*) fue de 68,6 %.

RECOMENDACIONES

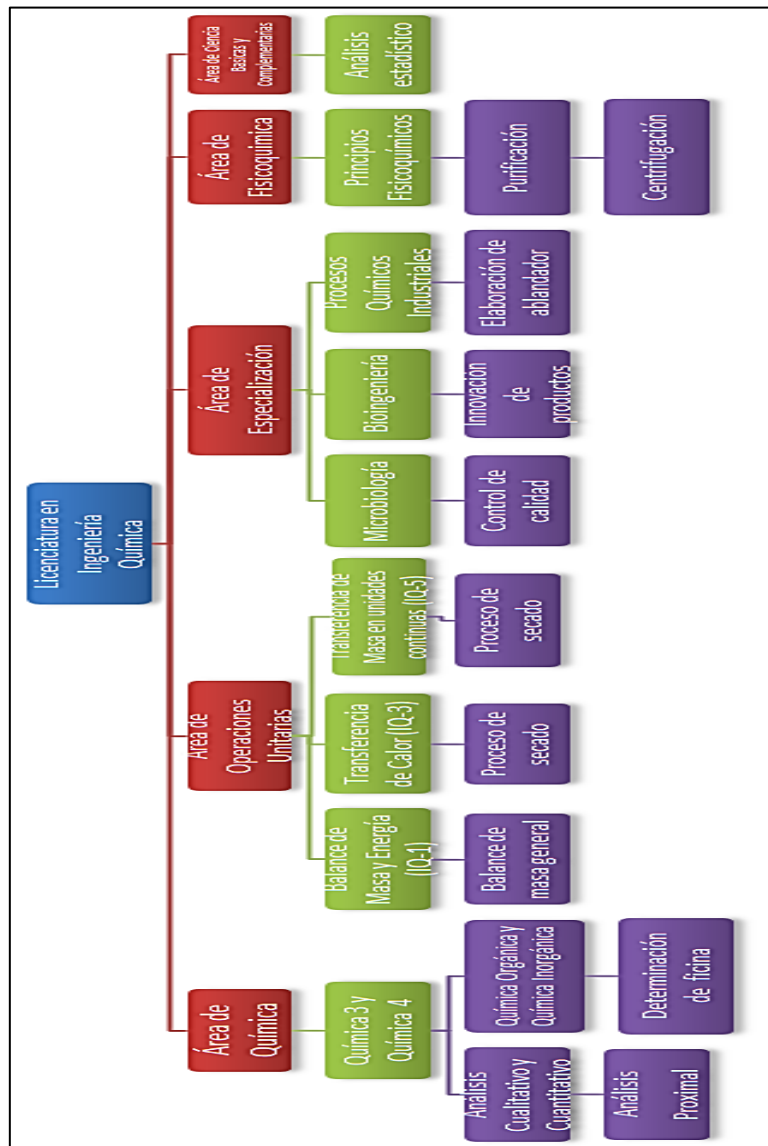
1. Extraer y purificar la enzima ficina proveniente del jugo del fruto del higo (*Ficus carica*).
2. Realizar una comparación de rendimiento de extracción de ficina en distintas etapas de maduración del fruto.
3. Utilizar el método de coagulación de leche de Balls and Hoover para medir la actividad enzimática de la ficina secada a 35, 45 y 55 °C.
4. Comparar la reducción de la actividad enzimática con respecto a la temperatura con otras enzimas proteolíticas.
5. Evaluar el rendimiento de extracción de la ficina con respecto al volumen de látex obtenido del higo (*Ficus carica*).
6. Realizar un análisis económico para establecer la rentabilidad de la producción de un ablandador cárnico elaborado con ficina obtenido del látex del higo (*Ficus carica*).

BIBLIOGRAFÍA

1. BADUI DERGAL, Salvador. *Química de los alimentos*. 4a. ed. México: Pearson, 2006. 716 p.
2. Consorcio Centro de Investigación y Formación de Agricultura Ecológica y Desarrollo Rural de Granada. *Catálogo de variedades locales de higuera (Ficus carica L.) de la Sierra de la Contraviesa*. España: CIFAED, 2007. 36 p.
3. DAMODARAN, Srinivasan; FENNEMA, Owen; PARKIN, Kirk y SANZ, Bernabé. *Química de los alimentos*. 3a ed. España: Acribia, 2008. 1 154 p.
4. GIRARD, Jean Pierre. *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza: Acribia, 1991. 300 p.
5. KERN, Donald. *Procesos de transferencia de calor*. México: Continental, 1999. 957 p.
6. WALPOLE, Ronald. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 4a. ed. México: McGrawHill, 1992. 510 p.

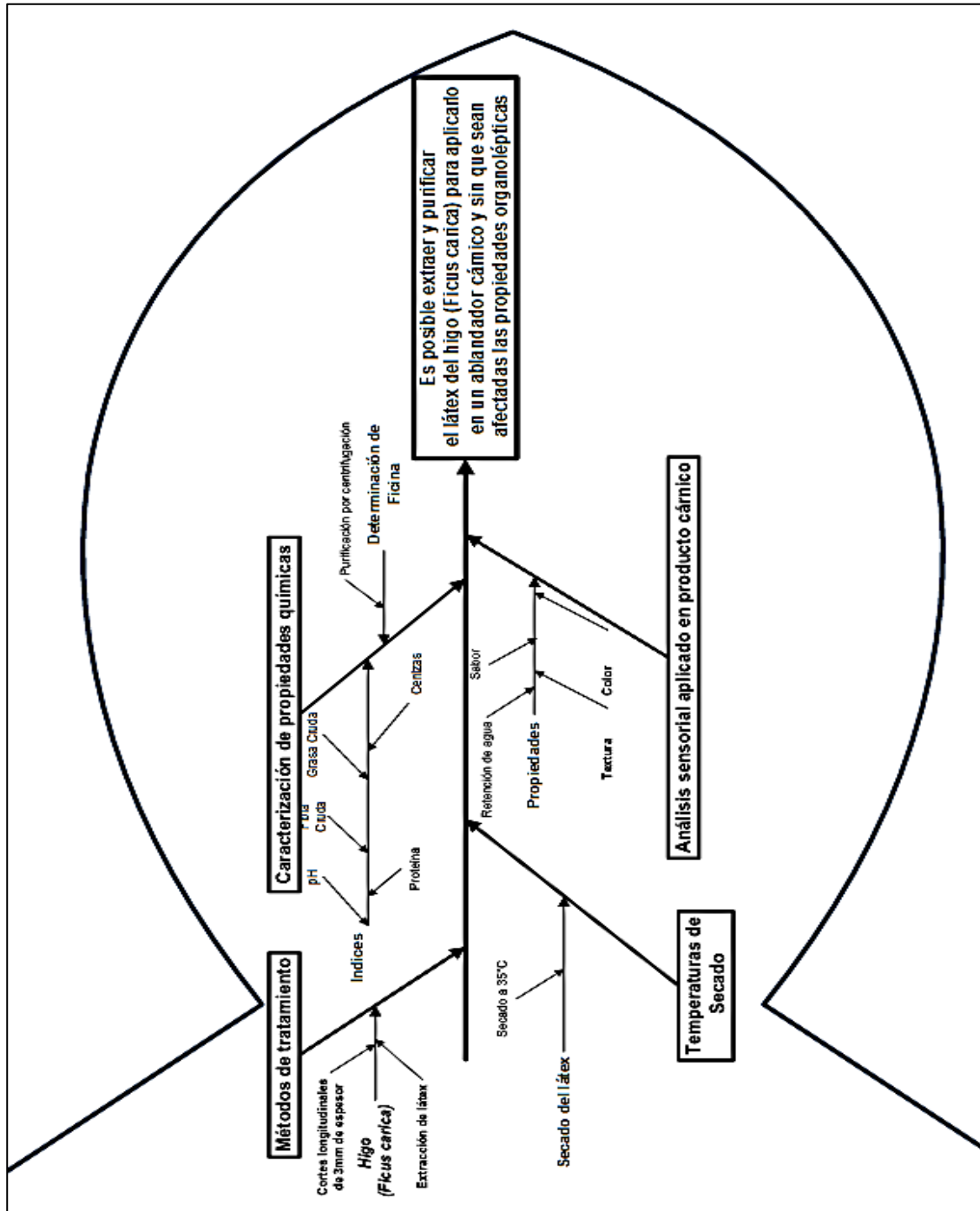
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

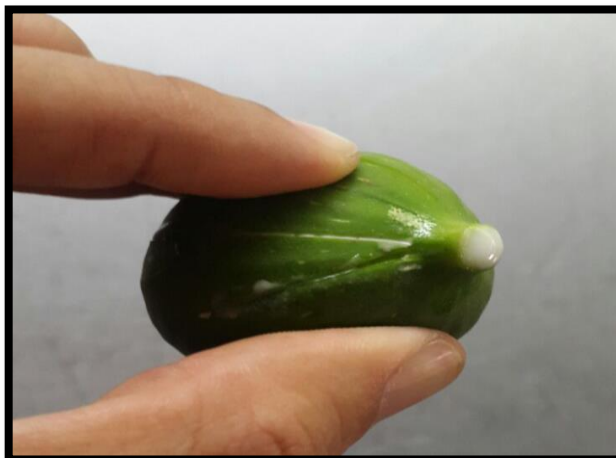
Apéndice 3. Figuras de proceso

Figura 3.1. **Preparación del higo para su corte y deshidratación**



Fuente: Laboratorio de Aseguramiento de Calidad en el Departamento de Desarrollo e Investigación de la empresa Alkemy Guatemala.

Figura 3.2. **Extracción del látex del higo**



Fuente: Laboratorio de Aseguramiento de Calidad en el Departamento de Desarrollo e Investigación de la empresa Alkemy Guatemala.

Figura 3.3. **Ablandador cárnico a base de ficina del higo (*Ficus carica*)**



Fuente: Laboratorio de Aseguramiento de Calidad en el Departamento de Desarrollo e Investigación de la empresa Alkemy Guatemala.

Figura 3.4. **Prueba de retención de agua en muestras cárnicas**



Fuente: Laboratorio de Aseguramiento de Calidad en el Departamento de Desarrollo e Investigación de la empresa Alkemy Guatemala.

Apéndice 4. **Datos calculados**

Tabla 4.1. **Tiempo de secado de látex del higo (*Ficus carica*) a 35 °C**

	1ra. corrida	2da. corrida	3ra. corrida
Tiempo (horas)	% humedad (g de látex*100/g masa inicial)	% humedad (g de látex*100/g masa inicial)	% humedad (g de látex*100/g masa inicial)
0,00	64,37	65,07	63,88
0,50	63,68	64,95	63,48
1,00	64,57	64,80	63,84
1,50	62,59	63,91	62,43
2,00	61,17	62,20	60,88
2,50	60,40	60,4	59,61
3,00	56,18	60,3	57,48
3,50	54,84	57,95	55,66
4,00	52,81	52,99	44,56
4,50	48,69	51,8	35,11
5,00	41,67	43,55	27,32
5,50	26,59	25,98	23,94
6,00	14,01	14,64	14,14
6,50	4,92	5,12	4,95

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2. **Tiempo de secado de látex del higo (*Ficus carica*) a 45 °C**

	1ra. corrida	2da. corrida	3ra. corrida
Tiempo (horas)	% humedad (g de látex*100/g masa inicial)	% humedad (g de látex*100/g masa inicial)	% humedad (g de látex*100/g masa inicial)
0,00	64,98	63,46	63,39
0,50	64,21	62,40	62,48
1,00	62,57	62,14	61,54
1,50	62,21	60,76	60,69
2,00	60,31	59,21	58,98
2,50	59,35	57,83	57,83
3,00	58,37	56,62	56,75
3,50	56,66	55,08	55,14
4,00	51,69	45,74	44,56
4,50	38,43	36,39	35,11
5,00	23,95	21,55	22,28
5,50	14,56	11,93	13,07
6,00	5,77	4,14	4,89

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.3. **Tiempo de secado de látex del higo (*Ficus carica*) a 55 °C**

	1ra. corrida	2da. corrida	3ra. corrida
Tiempo (horas)	% humedad (g de látex*100/g masa inicial)	% humedad (g de látex*100/g masa inicial)	% humedad (g de látex*100/g masa inicial)
0,00	64,22	63,97	63,26
0,50	62,32	62,42	61,56
1,00	61,36	61,04	60,40
1,50	60,38	59,83	59,32
2,00	58,67	58,29	57,72
2,50	53,70	48,95	50,66
3,00	40,44	39,6	39,50
3,50	25,96	24,76	25,03
4,00	16,57	15,14	15,83
4,50	7,78	7,35	7,55
5,00	4,16	5,21	4,67

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.4. **Evaluación de las características del producto cárnico después de la aplicación de ficina secada a 35 °C**

Característica física	Producto cárnico con ficina	Producto cárnico sin ficina
Retención de agua (% en peso)	96,37	93,42
pH	5,3	5,8

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.5. Evaluación de las características del producto cárnico después de la aplicación de ficina secada a 45 °C

Característica física	Producto cárnico con ficina	Producto cárnico sin ficina
Retención de agua (% en peso)	94,39	92,97
pH	5,6	5,8

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.6. Evaluación de las características del producto cárnico después de la aplicación de ficina secada a 55 °C

Característica física	Producto cárnico con ficina	Producto cárnico sin ficina
Retención de agua (% en peso)	93,98	93,27
pH	5,9	5,8

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.7. **Características del ablandador cárnico elaborado con ficina a 35 °C extraída del látex del higo (*Ficus carica*)**

Descripción de la muestra	Base	Agua %	Materia seca total %	Grasa cruda %	Fibra cruda %	Proteína cruda %	Cenizas %	Extracto libre de nitrógeno %
Muestra de ablandador cárnico	Seca	0,29	99,71	0,30	0,14	2,49	89,46	7,60
	Como Alimento	---	---	0,30	0,14	2,49	89,20	---

Fuente: elaboración propia, con datos del anexo 1.

Apéndice 5. **Escala hedónica de 9 puntos, aplicación del ablandador al producto cárnico**

INSTRUCCIONES: califique con una X, los siguientes atributos.
 ¿Qué opina del **TEXTURA** del producto con código?

1		2	
Me disgusta extremadamente	<input type="checkbox"/>	Me disgusta extremadamente	<input type="checkbox"/>
Me disgusta mucho	<input type="checkbox"/>	Me disgusta mucho	<input type="checkbox"/>
Me disgusta moderadamente	<input type="checkbox"/>	Me disgusta moderadamente	<input type="checkbox"/>
Me disgusta levemente	<input type="checkbox"/>	Me disgusta levemente	<input type="checkbox"/>
No me gusta ni me disgusta	<input type="checkbox"/>	No me gusta ni me disgusta	<input type="checkbox"/>
Me gusta levemente	<input type="checkbox"/>	Me gusta levemente	<input type="checkbox"/>
Me gusta moderadamente	<input type="checkbox"/>	Me gusta moderadamente	<input type="checkbox"/>
Me gusta mucho	<input type="checkbox"/>	Me gusta mucho	<input type="checkbox"/>
Me gusta extremadamente	<input type="checkbox"/>	Me gusta extremadamente	<input type="checkbox"/>


¿Qué piensa de la **ACEPTABILIDAD** en general del producto con código?

1		2	
Me disgusta extremadamente	<input type="checkbox"/>	Me disgusta extremadamente	<input type="checkbox"/>
Me disgusta mucho	<input type="checkbox"/>	Me disgusta mucho	<input type="checkbox"/>
Me disgusta moderadamente	<input type="checkbox"/>	Me disgusta moderadamente	<input type="checkbox"/>
Me disgusta levemente	<input type="checkbox"/>	Me disgusta levemente	<input type="checkbox"/>
No me gusta ni me disgusta	<input type="checkbox"/>	No me gusta ni me disgusta	<input type="checkbox"/>
Me gusta levemente	<input type="checkbox"/>	Me gusta levemente	<input type="checkbox"/>
Me gusta moderadamente	<input type="checkbox"/>	Me gusta moderadamente	<input type="checkbox"/>
Me gusta mucho	<input type="checkbox"/>	Me gusta mucho	<input type="checkbox"/>
Me gusta extremadamente	<input type="checkbox"/>	Me gusta extremadamente	<input type="checkbox"/>


Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Informe de resultados de análisis proximal



Elaborado por: Aura Marina de Marroquín
Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas



FORMULARIO BROMATO 7

INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS

Edificio No. 2° Nivel, Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala
Teléfono: 24188307 Teléfono: 24188307 ext. 1676
E-mail: bromato2000@yahoo.es

Solicitado por: **ALEXANDRA MARIA CHEVÉ**

Fecha de recibida la muestra: **07-11-2014**

Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA**

Fecha de realización: **DEL 10 AL 14-11-2014**

No. 591

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Escuela de Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal

Rep.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA CUOJA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	Dig. K.O.H. %	T.N.D. %	E.D. Mol/kg		
766	FICHA	SECA	0.20	89.71	0.30	0.14	2.49	89.46	7.50											
		COMO ALIMENTO			0.30	0.14	2.49	89.20												
		SECA																		
		COMO ALIMENTO																		

OBSERVACIONES:
 Deber resultados fueron calculados en base a muestra seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial de total de esta muestra. En caso de tener dudas comunicarse al teléfono 24188307.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

T.L. de Aura M. de Marroquín R.L. Laboratorio

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

F. M. V. Z.

Resultados 2014/591
14/11/14

Jefe Laboratorio de Bromatología

Fuente: Laboratorio de Bromatología del Centro de Investigaciones de Alimentos de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala

