



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

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN EL
CONTENIDO FENÓLICO TOTAL Y EL GRADO DE ACEPTABILIDAD DE LA
CÁSCARA DE MANZANA GRANNY SMITH (*Malus domestica*), PARA SU
APROVECHAMIENTO EN ELABORACIÓN DE INFUSIONES**

Karla Lisseth Caal López

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma de Martini

Guatemala, febrero de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN EL
CONTENIDO FENÓLICO TOTAL Y EL GRADO DE ACEPTABILIDAD DE LA
CÁSCARA DE MANZANA GRANNY SMITH (*Malus domestica*), PARA SU
APROVECHAMIENTO EN ELABORACIÓN DE INFUSIONES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KARLA LISSETH CAAL LÓPEZ

ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA DE MARTINI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Monroy Benítez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
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:

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN EL CONTENIDO FENÓLICO TOTAL Y EL GRADO DE ACEPTABILIDAD DE LA CÁSCARA DE MANZANA GRANNY SMITH (*Malus domestica*), PARA SU APROVECHAMIENTO EN ELABORACIÓN DE INFUSIONES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha noviembre de 2012.



Karla Lisseth Caal López

Guatemala, 04 de noviembre de 2013

Ingeniero

Víctor Manuel Monzón Valdez

Director Escuela de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Presente

Ingeniero Monzón:

Por este medio hago constar que apruebo el informe final del Trabajo de Graduación titulado "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN EL CONTENIDO FENÓLICO TOTAL Y EL GRADO DE ACEPTABILIDAD DE LA CÁSCARA DE MANZANA GRANNY SMITH (*Malus domestica*), PARA SU APROVECHAMIENTO EN ELABORACIÓN DE INFUSIONES", elaborado por la estudiante Karla Lisseth Caal López quien se identifica con carné No. 200714196.

Atentamente,



Ingeniera Química Hilda Palma de Martini

Colegiado No. 453

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 11 de noviembre de 2013
Ref. EI.Q.TG-IF.075.2013

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-071-2012-IF 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: **Karla Lisseth Caal López.**

Identificada con número de carné: **2007-14196.**

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:

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN EL CONTENIDO FENÓLICO TOTAL Y EL GRADO DE ACEPTABILIDAD DE LA CÁSCARA DE MANZANA GRANNY SMITH (*Malus domestica*), PARA SU APROVECHAMIENTO EN ELABORACIÓN DE INFUSIONES

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma de Martini.**

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”


Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Ref.EIQ.TG.015.2014

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, **KARLA LISSETH CAAL LÓPEZ** titulado: **"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN EL CONTENIDO FENÓLICO TOTAL Y EL GRADO DE ACEPTABILIDAD DE LA CÁSCARA DE MANZANA GRANNY SMITH (MALUS DOMESTICA), PARA SU APROVECHAMIENTO EN ELABORACIÓN DE INFUSIONES"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.



Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

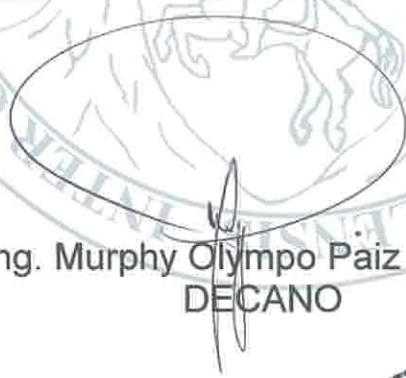
Guatemala, febrero 2014

Cc: Archivo
VMMV/ale



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: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN EL CONTENIDO FENÓLICO TOTAL Y EL GRADO DE ACEPTABILIDAD DE LA CÁSCARA DE MANZANA GRANNY SMITH (*Malus domestica*), PARA SU APROVECHAMIENTO EN ELABORACIÓN DE INFUSIONES** presentado por la estudiante universitaria Karla Lisseth Caal López, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, febrero de 2014

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su inmenso amor y bondad.
Mis padres	Odilia López y Carlos Caal. Por su amor y paciencia, por apoyarme en todo momento, nunca perder la fe en mí y ser unas personas dignas de admirar e imitar.
Mi hermano	Carlos Caal López. Por ser mi compañía en las buenas y en las malas y por su cariño incondicional que me ha dado las fuerzas para superar cualquier obstáculo.
Mis abuelos	Hermelinda Chay, Arnulfo López, Romelia Medina y Venancio Cal. Por su cariño y apoyo.
Mis tíos	Niray, William y Armando López, Oswaldo, Dora, Betty, Óscar, Byron, Julio, Francisco, Claudia, Fernando y Fredy Cal Medina. Por su cariño y apoyo.
Mis primos	Por su ejemplo, guía, cariño y compañía.
Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC	Catedráticos y personal administrativo. Por contribuir en mi desarrollo como profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres	Odilia López y Carlos Caal. Por ser parte fundamental en mi formación profesional y personal.
Mi hermano	Carlos Caal López. Por su apoyo en todo momento.
Familia Cal Morales	Por su apoyo y cariño incondicional. Por ser una segunda familia para mí.
Familia López Duque	Por su apoyo y cariño incondicional.
Mis amigos	Adreana Hernández, Eddy Viana, Manuel Viana, Gabriel Menocal, Josué Matheu, Gabriela Morán, Marisa Oliva, Gabriel Cifuentes, Sara Cajas, Jorge Morataya, Guido Gini, Brenda Barrios, Héctor Méndez, Jaime Catalán, Roberto Cancinos, Carolina Corzo, Rony González, José Lira, Esteban Suástegui, Daniela Alarcón, Luis Ruiz Funes, Vladimir Pérez, Pilar Castillo, Velvet Gramajo. Por ser una importante influencia en mi crecimiento personal y profesional.

Mi asesora

Inga. Hilda Palma. Por ser una guía durante mi carrera, por sus consejos, cariño y apoyo.

Ing. Federico Salazar

Por ser un ejemplo a seguir, por sus enseñanzas y guía durante mi carrera.

**Ing. Fernando
Castañeda**

Por su contribución en la elaboración de este trabajo de graduación.

**Laboratorio de Análisis
Fisicoquímico del CII**

Por su ayuda en la elaboración de este trabajo de graduación y por los conocimientos compartidos.

**Laboratorio de
Investigación de
Extractos Vegetales del
CII**

Por su colaboración en la elaboración de este trabajo de graduación.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por brindarme una formación profesional integral, con las herramientas necesarias para contribuir al desarrollo de mi país.

2.3.1.1.	Selección de equipo y control de variables para el secado de infusiones	13
2.3.1.1.1.	Variables a controlar en el secado con circulación transversal...	14
2.3.1.1.2.	Equipo para el secado con circulación transversal.....	15
2.3.1.1.3.	Restricciones del secado de infusiones	16
2.3.1.2.	Reducción de partícula.....	18
2.3.1.3.	Selección.....	19
2.3.1.4.	Envasado	19
2.3.1.5.	Análisis al producto	19
2.3.1.5.1.	Análisis del Contenido Fenólico Total (CFT)	20
2.3.1.5.2.	Análisis de las propiedades sensoriales	20
3.	METODOLOGÍA	23
3.1.	Variables	23
3.1.1.	Variables independientes	26
3.1.2.	Variables dependientes	27
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	27
3.3.	Recursos humanos disponibles	28
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	28
3.5.	Técnica cualitativa y cuantitativa	29

3.5.1.	Diseño preliminar	29
3.5.2.	Procedimiento experimental	31
3.5.2.1.	Deshidratar la cáscara de manzana Granny Smith a 40 °C, 50 °C y 60 °C, utilizando un secador de bandejas con flujo transversal de aire por convección forzada.....	31
3.5.2.2.	Caracterización del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca, utilizando el método de Folin- Ciocalteu.....	32
3.5.2.3.	Caracterización del contenido fenólico total la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C, a partir del método de Folin-Ciocalteu.....	36
3.5.2.4.	Evaluación del grado de aceptabilidad de una infusión frutal de cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C, mediante un análisis sensorial de escala hedónica verbal de nueve puntos.....	38
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	39
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	40
3.7.1.	Tablas de tabulación de datos.....	40
3.8.	Análisis estadístico	43

3.8.1.	Desviación estándar	44
3.8.2.	Coeficiente de correlación de Pearson.....	45
3.8.2.1.	Prueba de Tukey	46
3.9.	Plan de análisis de los resultados	47
3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables	47
3.9.1.1.	Determinación del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca.....	48
3.9.1.2.	Determinación del grado de aceptabilidad de una infusión frutal de cáscara Granny Smith deshidratada.....	52
3.9.2.	Programas utilizados para análisis de datos	53
4.	RESULTADOS.....	55
4.1.	Contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca	55
4.2.	Contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C.....	55
4.3.	Grado de aceptabilidad de una infusión frutal de cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C	57
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	59
	CONCLUSIONES.....	67
	RECOMENDACIONES	69
	BIBLIOGRAFÍA.....	71

APÉNDICES 75
ANEXOS..... 85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tejidos de la manzana	8
2.	Manzana Granny Smith.....	9
3.	Elementos contenidos en la cáscara de manzana Granny Smith	10
4.	Contenido fenólico total en cáscara, pulpa y fruta entera para diferentes variedades de manzana	10
5.	Contenido fenólico total y contenido de vitamina C del pepino, a diferentes temperaturas de secado	18
6.	Escala hedónica verbal de nueve puntos.....	22
7.	Diagrama del proceso preliminar	30
8.	Curva patrón para determinación del contenido fenólico total por el método Folin-Ciocalteu	48
9.	Efecto de la temperatura de secado en el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada.....	57
10.	Efecto de la temperatura de secado en el grado de aceptabilidad de infusión frutal de cáscara de manzana Granny Smith deshidratada	58

TABLAS

I.	Definición de variables operativas.....	24
II.	Variables independientes	26
III.	Variables dependientes.....	27
IV.	Esquema de pipeteo para curva patrón	34
V.	Esquema de pipeteo para muestras	35

VI.	Esquema de pipeteo para muestras	38
VII.	Absorbancias obtenidas para muestras de cáscara fresca.....	40
VIII.	Absorbancias obtenidas para muestras de cáscara deshidratada a 40 °C	41
IX.	Absorbancias obtenidas para muestras de cáscara deshidratada a 50 °C	41
X.	Absorbancias obtenidas para muestras de cáscara deshidratada a 60 °C	42
XI.	Ponderación en escala hedónica para infusión de cáscara de manzana	42
XII.	Coeficiente r de Pearson y tipo de correlación	46
XIII.	Ponderación de escala hedónica verbal	53
XIV.	Contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca.....	55
XV.	Contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C	56
XVI.	Comportamiento del contenido fenólico total y grado de aceptabilidad de la cáscara de manzana Granny Smith, en función de la temperatura de secado	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AT	Ácido tánico
CFT	Contenido Fenólico Total
R	Coeficiente de correlación
R²	Coeficiente de determinación
°Brix	Grados Brix
°C	Grados Celsius
g	Gramos
kg	Kilogramos
L	Litros
m	Metros
mg	Miligramos
ml	Mililitros

nm	Nanómetros
PF	Peso fresco
PS	Peso seco
pH	Potencial de hidrógeno
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundos
UV	Ultravioleta
P	Valor P

GLOSARIO

Antioxidantes	Moléculas que previenen o retardan el proceso oxidativo de otras moléculas.
Caracterizar	Determinar los atributos de un material, de modo que se distinga de los demás.
Contenido Fenólico Total (CFT)	Contenido total de antioxidantes de tipo fenólico que presenta determinada muestra.
Curva patrón	Método analítico utilizado para medir la concentración de una sustancia en una muestra por comparación con un grupo de sustancias de concentración conocida, basado en la existencia de una relación lineal entre el carácter medible y la variable a determinar.
Escala hedónica verbal	Prueba sensorial que refleja el grado de satisfacción que un producto causa en un degustador, mediante el uso de frases ponderadas.
Extracción	Procedimiento de separación de una sustancia que puede disolverse en dos solventes que no se mezclan entre sí.

Extracto	Sustancia de interés de estudio, obtenida por medio de una extracción.
Grado de aceptabilidad	Grado en que un degustador acepta las propiedades sensoriales de determinado producto.
Infusión	Bebida obtenida de hojas, partes de flores o frutos, de diversas plantas deshidratadas, mediante la adición de agua caliente.
Método de Folin-Ciocalteu	Método analítico que detecta todos los grupos fenólicos que se encuentran en un extracto, mediante la medición de su capacidad para reducir molibdeno (VI).
Polifenoles	Compuestos cuya estructura química consiste en un anillo aromático y uno o más grupos hidroxilos, incluyendo sus derivados funcionales. También conocidos como compuestos fenólicos.
Valor P	Valor que en estadística representa la probabilidad de obtener un resultado al menos tan extremo como el que realmente se ha obtenido, suponiendo que la hipótesis nula es cierta.

RESUMEN

La siguiente investigación se realizó con el objetivo de analizar el efecto de la temperatura como variable operacional del secado, en las propiedades funcionales de la cáscara de manzana Granny Smith para su uso en la elaboración de bebidas de infusión; las propiedades funcionales analizadas fueron el contenido fenólico total y la aceptabilidad sensorial. La elaboración de bebidas de infusión se presenta como alternativa para el aprovechamiento de la cáscara de manzana Granny Smith, que es actualmente desechada en una industria panificadora.

Para evaluar el efecto de la temperatura de secado en el contenido fenólico, se determinó el contenido inicial promedio en la cáscara fresca de manzana Granny Smith y posteriormente se deshidrató a tres diferentes temperaturas, 40, 50 y 60 grados Celsius en un secador bandejas de flujo transversal de aire. Luego se determinó el contenido fenólico final y su diferencia con respecto al inicial, el análisis de contenido fenólico se llevó a cabo por medio del método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, a extractos obtenidos por maceración dinámica durante 60 minutos con acetona a 70 por ciento. El estudio se realizó en tres corridas para cada deshidratación, y cada análisis químico se llevó a cabo en duplicado, los resultados se expresaron en valores medios \pm desviación estándar.

Para evaluar el efecto de la temperatura de secado en el grado de aceptabilidad de una infusión frutal derivada de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada, se llevó a cabo un análisis sensorial de escala hedónica verbal de nueve puntos, con 30 evaluadores para las tres temperaturas, 40, 50

y 60 grados Celsius, de la corrida con mejores resultados en contenido fenólico total.

Se obtuvo un valor de contenido fenólico total de $10,595 \pm 0,671$ miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de peso húmedo, para la cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) fresca. Se observó una diferencia estadísticamente significativa entre el valor promedio obtenido para la cáscara fresca y los valores promedios obtenidos para las tres temperaturas de secado.

Se obtuvo un valor máximo de $5,984 \pm 0,517$ miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de peso seco, correspondiente a la primera corrida con temperatura de 50 grados Celsius y un valor mínimo de $4,086 \pm 0,227$ miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de peso seco, correspondiente a la segunda corrida con temperatura de 60 grados Celsius. El contenido fenólico total promedio para la temperatura de 50 grados Celsius fue de 5,832 miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de peso seco, con una diferencia estadísticamente significativa respecto a las temperaturas de 40 y 60 grados Celsius. No se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los valores promedios obtenidos para las deshidrataciones a 40 y 60 grados Celsius.

No se encontraron diferencias significativas entre los valores obtenidos para el grado de aceptabilidad de una infusión frutal de cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) deshidratada, a 40, 50 y 60 grados Celsius.

OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto de la temperatura de secado, en el contenido fenólico total y el grado de aceptabilidad de la cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) para su aprovechamiento en la elaboración de infusiones.

Específicos

1. Deshidratar la cáscara de manzana Granny Smith a 40, 50 y 60 grados Celsius, utilizando un secador de bandejas con flujo transversal de aire por convección forzada.
2. Caracterizar el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca, utilizando el método de Folin-Ciocalteu.
3. Caracterizar el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40, 50 y 60 grados Celsius, a partir del método de Folin-Ciocalteu.
4. Evaluar el grado de aceptabilidad de una infusión frutal de cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40, 50 y 60 grados Celsius, mediante un análisis sensorial de escala hedónica verbal de nueve puntos.

INTRODUCCIÓN

La cáscara de manzana es conocida por poseer un contenido de nutrientes igual o mayor al de los demás tejidos de la fruta, estudios científicos han demostrado que además de su alto contenido en fibra y vitaminas, la cáscara de manzana cuenta también con un alto contenido de compuestos fenólicos, los cuales a su vez, han demostrado tener actividad antioxidante y antiproliferativa importantes para la prevención de enfermedades degenerativas. Con base en este conocimiento, se ha propuesto el uso de cáscaras como materia prima para productos farmacéuticos y alimenticios, principalmente con el fin del aprovechamiento total de la fruta.

La industria panificadora de Guatemala utiliza manzanas en la elaboración de sus productos, desechando cáscara y otros tejidos. En la planta de producción estudiada se desecha un aproximado de 230 libras semanales de cáscara, lo cual representa una considerable fuente de materia prima para productos farmacéuticos y alimenticios con propiedades antioxidantes y antiproliferativas.

La propuesta de utilizar la cáscara de manzana como materia prima para la elaboración de bebidas de infusión, consiste en el aprovechamiento de las propiedades organolépticas (sabor, color y olor) que la cáscara mantiene posterior a su separación del resto de la fruta, así como sus propiedades bioquímicas, de una forma comercialmente viable.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

En Guatemala y muchos otros países, se conoce de forma empírica que la cáscara de manzana posee un contenido de nutrientes igual o mayor al de la pulpa, sin embargo, para realizar este estudio fue necesario investigar de fuentes científicas la composición de la cáscara de manzana y la concentración de sus compuestos, en relación a la pulpa y otros tejidos de la fruta.

Algunos investigadores se han dedicado al análisis de la cáscara de manzana y al estudio de sus aplicaciones en la industria de alimentos y bebidas. En estos estudios, han caracterizado la composición de cáscaras de diferentes tipos de manzana, las propiedades bioquímicas de los principales compuestos presentes, la diferencia en composición y concentración de estos compuestos en los diferentes tejidos de la fruta, y han analizado opciones para su uso como materia prima para productos alimenticios y farmacéuticos.

En enero de 2003, el Instituto de Toxicología Comparativa y Medioambiental (ICET por sus siglas en Inglés) de la Universidad de Cornell en Ithaca, Nueva York, publicó el estudio *Antioxidant Activity of Apple Peels*, teniendo como principal investigador a Kelly Wolfe.

En este estudio, se comparó la capacidad antioxidante y antiproliferativa de la cáscara de manzana con la de la pulpa y una mezcla pulpa/manzana, con el fin de determinar si al desechar la manzana, se desperdicia una fuente significativa de estos beneficios.

Para llevarlo a cabo, se investigó el contenido fitoquímico, la actividad antioxidante y la actividad antiproliferativa de las cáscaras de cuatro variedades comúnmente usadas en la industria alimenticia en Nueva York. Los valores de las cáscaras fueron comparados con los de la pulpa y los de una mezcla de pulpa y cáscaras. En todas las variedades, el contenido fenólico total fue significativamente más alto en las cáscaras, además de mostrar mejor actividad antiproliferativa y antioxidante. Se concluyó que el alto contenido de compuestos fenólicos, la actividad antioxidante y antiproliferativa de las cáscaras de manzana, indican que su consumo es beneficioso para la salud.

En otro estudio liderado por Kelly Wolfe, llamado *Apple peel as a value-added food ingredient*, el ICET publicó en marzo de 2003, una propuesta para el uso de la cáscara de manzana como un ingrediente de valor agregado en productos alimenticios. Para elaborar esta propuesta, se caracterizó el contenido fenólico total de las cáscaras frescas, se simuló el proceso de elaboración del ingrediente y se caracterizó de nuevo el contenido fenólico total para determinar las pérdidas por tratamiento térmico.

Las cáscaras analizadas fueron tratadas con preparaciones de ácido cítrico, ácido ascórbico y sometidas a escaldado por 10 segundos. Posterior al escaldado, se realizó el secado de las cáscaras con tres equipos distintos (horno eléctrico, secador con flujo de aire y liofilizador). La liofilización dio como resultado la menor pérdida de fitoquímicos, con valores de contenido fenólico total, flavonoides y antocianinas similares a los de la cáscara fresca.

El proceso de secado por aire presentó pérdida media de fitoquímicos, en comparación con el horno eléctrico (mayor pérdida) y la liofilización. Se concluyó que el polvo de cáscara de manzana puede ser utilizado en varios

productos alimenticios para agregar fitoquímicos a la dieta y promover la buena salud.

En el 2010, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile (INIA), llevó a cabo el estudio *Determination of Antioxidant Capacity, Total Phenolic Content and Mineral Composition of Different Fruit Tissue of Five Apple Cultivars Grown in Chile*, con la investigadora Carolina Henríquez como titular.

En este estudio se analizó la variación de la composición y concentración de los compuestos fenólicos como fuente de antioxidantes, en la cáscara de manzana de cinco variedades cultivadas en Chile, entre ellas la variedad Granny Smith, adicional a esto se dividió cada variedad en tres tejidos: cáscara, pulpa y manzana completa. El análisis de la capacidad antioxidante se hizo a partir del ensayo de Potencial Reductor Férrico, mientras que el de contenido total de fenoles con el ensayo de Folin-Ciocalteu, además de estos ensayos, fueron analizadas las características fisicoquímicas como distribución de peso, porcentaje de peso seco, pH, porcentaje de ácido málico, contenido de sólidos solubles y color.

Se determinó que el porcentaje en peso de fruta completa que representa la cáscara es 5,8 ($\pm 0,1$) por ciento, para la variedad Granny Smith. Las características fisicoquímicas, de la cáscara de esta variedad, fueron las siguientes: peso seco del 21,4 ($\pm 0,2$) por ciento; pH de 4,1 ($\pm 0,04$); porcentaje de ácido málico de 0,30 ($\pm 0,020$) por ciento; contenido de sólidos solubles de 11,4 ($\pm 0,8$) grados Brix; contenido total fenólico igual a 7,2 miligramos equivalentes de ácido gálico en 1 gramo de peso húmedo. Los resultados indicaron que el contenido total fenólico, la capacidad antioxidante y la composición mineral de la cáscara es significativamente mayor a la de la pulpa y la fruta entera, para todos los cultivos estudiados. Además, en la cáscara, se

encontró alta correlación entre el contenido total fenólico y la capacidad antioxidante.

1.2. Justificación

La industria panificadora de Guatemala utiliza manzanas en la elaboración de sus productos, desechando la cáscara, las semillas y el centro. Para presentar un caso específico, se estudió una panificadora industrial, la cual utiliza 500 libras diarias de manzana Granny Smith, produciendo un aproximado de 230 libras de cáscara semanales. Esta cáscara no es debidamente aprovechada, ya que es desechada como basura orgánica sin generar alguna utilidad.

El desecho de la cáscara implica además del desperdicio de materia prima, un desperdicio de nutrientes. Entre estos nutrientes, están los compuestos fenólicos, que son compuestos bioquímicos con fuerte actividad antiproliferativa y antioxidante, cuyo consumo en productos alimenticios es beneficioso para la salud, además de contener proteínas, minerales y carbohidratos. Por lo tanto, la elaboración de una infusión frutal se presenta como alternativa para el aprovechamiento de estos compuestos y del subproducto que es la cáscara.

El aprovechamiento de la cáscara en la elaboración de una infusión frutal, beneficia a la empresa al permitir utilizar un mayor porcentaje de la materia prima, además de ser un proceso de costo relativamente bajo; beneficia al futuro consumidor al brindarle una nueva opción para el consumo de agua, nutrientes y antioxidantes; y beneficia al medio ambiente por el decremento en la generación de desechos sólidos.

Este estudio se realiza con el fin de evaluar el efecto de la temperatura de secado en las características que interesan en el producto terminado para poder aprovechar el subproducto de la forma deseada, es decir, brindando un producto de características organolépticas y contenido fenólico, atractivos para el consumidor.

1.3. Determinación del problema

Para determinar el problema de investigación, se definió y delimitó el campo de acción en base a los recursos disponibles y las necesidades de la industria.

1.3.1. Definición

Se desea aprovechar el contenido fenólico y las propiedades de olor, sabor y color, de la cáscara de manzana que se desecha en la industria panificadora, para su consumo en una infusión frutal. Debido a la susceptibilidad de los compuestos fenólicos y las propiedades organolépticas, a las altas temperaturas, se debe cuantificar el efecto de la temperatura de secado sobre dichas características, y así permitir establecer un parámetro en el proceso de elaboración a cualquier escala.

1.3.2. Delimitación

Este trabajo se enfocó en la evaluación del efecto de la temperatura de secado en el contenido fenólico y el grado de aceptabilidad sensorial, de una infusión frutal elaborada a nivel planta piloto. La infusión se elaboró a partir de la cáscara de manzana (*Malus domestica*) de la variedad Granny Smith,

desechada en la planta de producción de una panificadora industrial de la ciudad de Guatemala.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades de la manzana

La manzana es una fruta simple de la modalidad de las pomas, las cuales son frutas carnosas, cuyas semillas están rodeadas por un endocarpo coriáceo similar al papel. Son de sabor dulce ligeramente ácido debido a su contenido de ácido málico. Esta fruta proviene del árbol llamado manzano (*Malus domestica*).

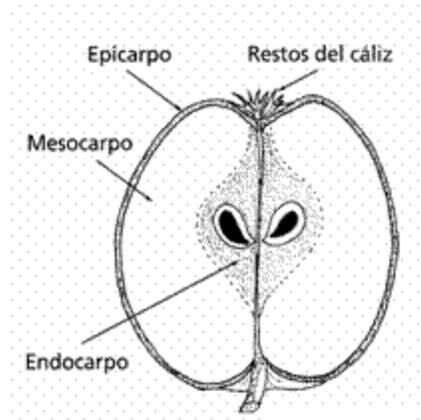
La manzana, como todas las frutas, tiene elevado porcentaje de agua, existencia de azúcares, vitaminas hidrosolubles y proteínas.

En esta fruta se distinguen tres capas o tejidos principales (ver figura 1):

- Epicarpio: capa externa de la fruta, es una piel que la protege de hongos, bacterias y virus. A este tejido también se le conoce como cáscara o piel.
- Mesocarpio: capa intermedia de la fruta, suele ser gruesa, carnosas, dulce y de colores atractivos. Se le conoce comúnmente como pulpa.
- Endocarpo: capa interna de la fruta, es membranosa y las semillas están localizadas aquí. Este tejido es también conocido como centro o corazón.

Al conjunto de las tres capas se le llama pericarpio.

Figura 1. **Tejidos de la manzana**



Fuente: García, M. et al., Guía de prácticas de biología en línea.

En la industria panificadora, se utiliza la variedad Royal Gala y la variedad Granny Smith (manzana verde), para la elaboración de productos variados, estas variedades son seleccionadas debido a su sabor y textura. La firmeza de la manzana facilita las operaciones de transporte, lavado, pelado y corte.

En esta investigación se evalúa la cáscara de la variedad Granny Smith como fuente de materia prima para la elaboración de infusiones.

2.1.1. Variedad Granny Smith

Existen numerosas variedades de manzana, entre ellas Granny Smith, la cual es de origen australiano. Es una poma muy redonda, de piel verde intenso y pulpa blanca, su sabor se caracteriza por ser ligeramente ácido (ver figura 2).

Figura 2. **Manzana Granny Smith**



Fuente: PLANFOR, Catálogo en línea, www.planfor.es. Consulta: 26 de octubre de 2012.

En la elaboración de productos de panificación a base de manzana, se utiliza solamente el mesocarpio de la misma, por lo que se desecha el resto de la fruta. En esta investigación es de interés el epicarpio y por lo tanto, sus características físicas y químicas.

2.1.1.1. Características del epicarpio (cáscara) de la variedad Granny Smith

La cáscara de la variedad Granny Smith es de color verde intenso con pequeños puntos blancos. De acuerdo con Henríquez et al. (2010), la proporción en la que se encuentra la cáscara en la variedad de manzana Granny Smith es de 5,8 ($\pm 0,1$) por ciento, mientras que la pulpa y el centro se encuentran en proporciones de 61,6 ($\pm 0,8$) y 20,5 ($\pm 2,2$) por ciento respectivamente. Henríquez et al. (2010) también proporciona los valores de pH y sólidos solubles de este tejido, los cuales son 4,1 ($\pm 0,04$) por ciento y 11,4 ($\pm 0,8$) grados Brix, respectivamente.

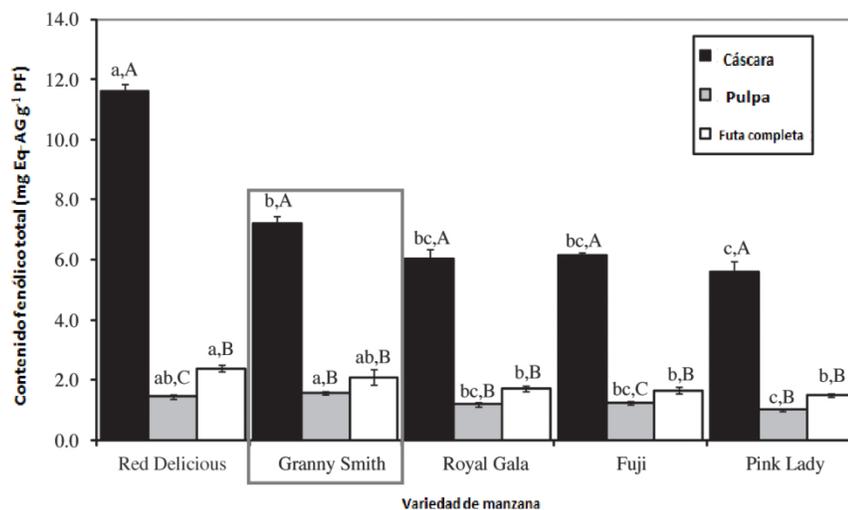
En adición a las características mencionadas, los principales elementos presentes en la cáscara de manzana Granny Smith son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio, además de trazas de hierro, manganeso, cobre y zinc (ver figura 3). El contenido fenólico total es mayor en la cáscara de manzana Granny Smith que en el resto de la fruta (ver figura 4).

Figura 3. **Elementos contenidos en la cáscara de manzana Granny Smith**

Tejido	Cultivo	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio
mg/100 g peso fresco							
Cáscara	Granny Smith	107,8 ± 0,6	20,5 ± 1,0	165,1 ± 4,1	9,8 ± 0,5	21,9 ± 0,6	7,4 ± 0,6

Fuente: Henríquez C., et al., *Determination of antioxidant capacity, total phenolic content and mineral composition of different fruit tissue of five apple cultivars grown in Chile*, p. 526.

Figura 4. **Contenido fenólico total en cáscara, pulpa y fruta entera para diferentes variedades de manzana**



Fuente: Henríquez C., et al., *Determination of antioxidant capacity, total phenolic content and mineral composition of different fruit tissue of five apple cultivars grown in Chile*, p. 529.

Las propiedades nutricionales y funcionales de la cáscara de manzana, tales como su contenido fenólico, contenido vitamínico y de minerales, son solubles en agua, lo cual permite su uso como materia prima para la elaboración de infusiones.

2.2. Infusión frutal

Las infusiones son bebidas que se preparan a partir de hojas, semillas, frutos y otras partes de plantas, y agua caliente, con el fin de que las sustancias aromáticas o medicinales de la planta se disuelvan en el agua. Son bebidas sin gases añadidos y que pueden prepararse en el hogar. La temperatura a la que se debe llevar el agua para que esto suceda, varía con el tipo de bebida. Las infusiones más comunes son el té, té verde, mate, la manzanilla, canela, menta, entre otras.

Las infusiones hechas solamente de frutas, que no contienen otras partes de la planta, se pueden denominar como 'infusiones frutales'. En esta investigación, el producto a elaborar es una infusión frutal debido a que únicamente se utilizará la cáscara de la manzana. El proceso de elaboración de estos productos es simple, usualmente consiste solamente en secado, reducción de partícula, selección y empaque. El método de preparación de las infusiones frutales previo al consumo es la decocción, la cual consiste en la extracción de aromas al sumergir las frutas en agua hirviendo entre 3 y 30 minutos (Durán, 2011).

Sobre las propiedades terapéuticas de las infusiones frutales, se han hecho alegaciones pero se ha brindado poca evidencia que lo soporte (Varnam et al., 1994). Entre las propiedades beneficiosas para la salud y atribuidas a las

infusiones tanto frutales como herbales, se encuentran los compuestos fenólicos.

2.2.1. Compuestos fenólicos en infusiones

Los compuestos fenólicos, también conocidos como polifenoles, son una característica determinante en la calidad de las infusiones (Varnam et al., 1994).

Su origen radica en los metabolitos secundarios de las plantas, derivados de la fenilalanina y la tirosina. En su estructura química poseen un anillo aromático y uno o más grupos hidroxilos, incluyendo sus derivados funcionales. Contribuyen con la pigmentación de las plantas, su sabor y olor; funcionan como antibióticos, pesticidas naturales y protectores de luz UV (Shahidi et al., 2004), estas propiedades están dadas en su mayoría por compuestos solubles en agua, los cuales brindan las mismas propiedades a bebidas de infusión preparadas con las partes de la planta que los contengan. La actividad antioxidante de estos compuestos se debe a su estructura que le brinda habilidad para remover radicales libres (Di Scala et al., 2011).

2.3. Proceso de elaboración de infusiones frutales

El proceso de preparación de una fruta, o cualquiera de sus partes, para su consumo en infusiones frutales consiste en secado, reducción de partícula, selección y envasado y comercialización (Durán, 2011). Las operaciones unitarias necesarias para la elaboración de una infusión de cáscara de manzana, se describen a continuación.

2.3.1. Secado

El secado es una operación unitaria que consiste en extraer cantidades conocidas de un líquido, usualmente agua, de un material sólido con el fin de reducir el contenido inicial del líquido hasta un contenido deseado. Esta extracción se puede hacer de manera mecánica (centrifugación, filtración, exprimido) o térmica. El secado de sólidos facilita el transporte del producto, reduce su peso, concentra sustancia, mejora la calidad y aumenta su vida de anaquel.

En la elaboración de infusiones, esta operación se reduce el contenido de agua a 2,5-3,5 por ciento mediante el uso de aire caliente (Varnam et al., 1994). Las variables a controlar son el tiempo y la temperatura, por su importancia sobre el producto final. El exceso de agua puede favorecer la proliferación de mohos, mientras que un secado muy intenso genera pérdidas en aroma y otras propiedades sensoriales. El secado de frutas con fines de aprovechamiento de principios activos se hace entre 30 y 70 grados Celsius.

2.3.1.1. Selección de equipo y control de variables para el secado de infusiones

McCabe (2007) clasifica los secadores que operan de manera térmica, en los siguientes tres grupos: directos o adiabáticos, indirectos o no adiabáticos, directos-indirectos.

En los secadores directos, el sólido se encuentra directamente expuesto a un gas caliente. La exposición de los sólidos al gas se presenta de diferentes formas, entre ellas la circulación transversal, en la que el gas circula de forma paralela sobre una o ambas caras de una lámina de sólidos. Los secadores

directos son los utilizados industrialmente para la elaboración de infusiones, por lo general se utiliza secadores con circulación transversal de aire.

El secado con circulación transversal es lento y en general se realiza por lotes, es importante en la fabricación de productos en los que se debe controlar rigurosamente las condiciones del secado, como es el caso de las infusiones. Las condiciones del secado están dadas por las variables del medio (gas) y las del sólido.

2.3.1.1.1. Variables a controlar en el secado con circulación transversal

Las variables del medio son: humedad relativa, temperatura de bulbo seco, velocidad, dirección y presión del flujo de aire a través de la superficie sólida. A las condiciones de la corriente de aire se les conoce como condiciones constantes del secado.

Las variables del sólido para secado con circulación transversal, son: el tamaño de partícula del sólido, el espesor de lecho, y la configuración interna (canales y poros de la partícula).

Es importante homogenizar el tamaño de partícula de sólido y el contenido de humedad del lecho, para homogenizar también el tiempo de secado. Se recomienda tener una molienda y un tamizaje previos al secado, para estandarizar el tamaño, y clasificar según contenido de humedad para balancear el lecho. Es importante mencionar que el objeto de la molienda y el tamizaje en este caso es homogenizar y no reducir el tamaño de partícula, ya

que entre más compacto sea el sólido, más carga se aplica al secador y se dificulta el proceso.

El espesor de lecho es la variable más importante en el secado con circulación transversal, mientras menor espesor de lecho, el secado será más homogéneo y el tiempo será menor.

La configuración interna del sólido permite clasificarlos en porosos y no porosos. Los sólidos porosos no solo contienen agua en su superficie sino también la almacenan dentro de los poros, por lo que su salida se da por difusión y la remoción por evaporación y arrastre. Mientras más poroso sea el sólido, más difícil es el secado, de igual manera si el agua está ligada químicamente o si el sólido es un material orgánico, debido a la oposición de la pared celular a la pérdida del agua.

2.3.1.1.2. Equipo para el secado con circulación transversal

El secado con circulación transversal se puede llevar a cabo en un secador de bandejas que consiste en un calentador y un contactor. En el calentador, se eleva la temperatura del aire para reducir su humedad relativa y aumentar su capacidad de arrastre; el contactor es una cámara con varias bandejas metálicas colocadas horizontalmente, dentro de las cuales se coloca el sólido formando un lecho de espesor definido para que posteriormente fluya sobre él, el aire caliente y seco.

Para operar el secador de bandejas es necesario definir el porcentaje de humedad en el sólido requerido por el tipo de proceso, el porcentaje de humedad inicial del sólido, el tiempo y la temperatura de secado.

El secado térmico de materias primas para la elaboración de productos alimenticios, cuenta con una serie de restricciones, independientemente del tipo de producto y del método a utilizar.

2.3.1.1.3. Restricciones del secado de infusiones

Debido a la naturaleza térmica de los métodos más comunes de secado, se debe controlar la temperatura y tiempo de exposición de los sólidos para evitar daños físicos, químicos y sensoriales en los alimentos. Entre los cambios físicos que se observan en el secado de alimentos están el encogimiento, endurecimiento y la termoplasticidad; los cambios químicos están fuertemente relacionados con el color, sabor, textura, valor nutritivo y estabilidad en el almacenamiento.

El grado en que ocurren los cambios depende de la composición del alimento y la severidad del método de secado, por lo que se debe conocer el contenido nutricional de la materia prima y seleccionar una temperatura de secado que no reste funcionalidad al producto.

En la elaboración de infusiones, es importante cuidar los cambios ocurridos en los compuestos que otorgan aroma, sabor, color y otras propiedades funcionales como los antioxidantes.

Barbosa-Cánovas et al. (1996) indica que los compuestos que otorgan aroma y sabor, aparecen comúnmente en alimentos con presiones de vapor relativamente altas. Como consecuencia del secado, se da la evaporación y pérdida de estos compuestos, esto debido al calentamiento del producto y la remoción de agua. En el calentamiento isotérmico, la retención de aroma es

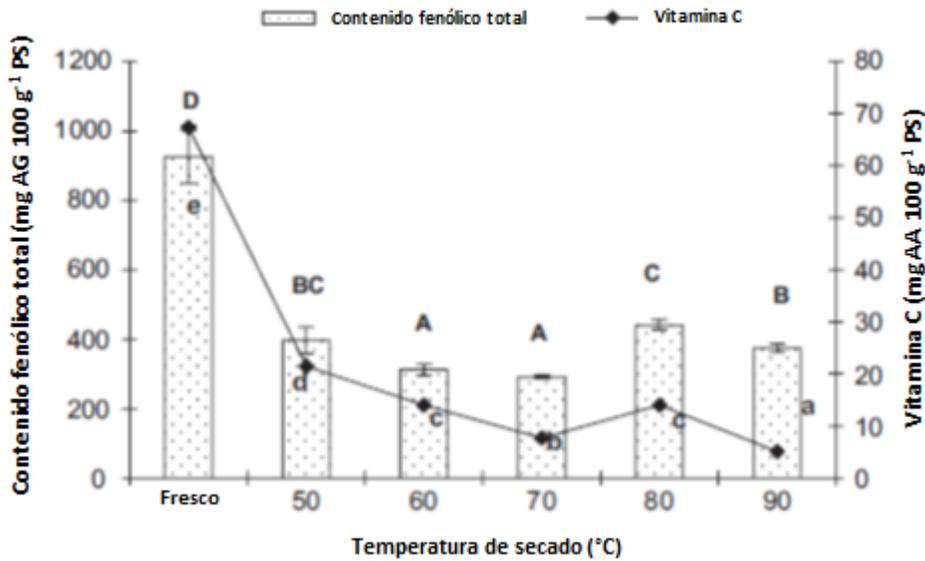
mayor para mayores valores de concentración inicial de sólidos disueltos, espesor de lecho, coeficiente de transferencia de masa en la fase gaseosa, temperatura de lecho, y menores valores de humedad relativa del aire.

Debido a la importancia del contenido fenólico en la calidad de las infusiones, la temperatura a la que éstos pierden su funcionalidad, se convierte en una restricción para la operación de secado en el proceso.

De acuerdo con Di Scala et al. (2011), la temperatura de secado tiene un efecto negativo en el contenido fenólico y su funcionalidad en frutas. La reducción del contenido fenólico durante el secado se puede deber a dos fenómenos, el primero es la unión de los polifenoles con otros compuestos y el segundo es la alteración en la estructura química de los polifenoles. El aumento de temperatura también puede provocar una reacción con grupos amino, modificando las propiedades saludables de los compuestos fenólicos. El secado prolongado a temperaturas relativamente bajas, puede ser de igual forma dañino para la funcionalidad del producto.

En la figura 5, se observa el comportamiento del contenido fenólico del pepino a diferentes temperaturas de secado (50, 60, 70, 80 y 90 grados Celsius) con aire caliente que fluye a 2 metros por segundo en un secador convectivo, para una densidad de carga de 10,2 kilogramos por metro cuadrado.

Figura 5. **Contenido fenólico total y contenido de vitamina C del pepino, a diferentes temperaturas de secado**



Fuente: Di Scala, K. et al., *Changes of quality characteristics of pepino fruit*, p. 750.

2.3.1.2. Reducción de partícula

La reducción de partícula también se conoce como molienda del material a ser empacado, ésta se puede llevar a cabo de forma manual o mecánica, su objetivo es producir pequeñas partículas a partir de otras más grandes. La importancia de la reducción de partícula en el producto terminado radica en la disponibilidad los compuestos que se transfieren al líquido, por aumento al área de contacto, además de su forma, tamaño y número. Los equipos utilizados comúnmente en este proceso son de corte. El corte da lugar a muy pocos o nada de finos.

2.3.1.3. Selección

Una vez que han sido secadas y molidas, las partículas pasan por tamices de distintos tamaños que las clasifican por su medida y estado. Esta clasificación no tiene nada que ver con la calidad o el sabor de la infusión, sino con el aspecto y la uniformidad de tamaño que será tomada en cuenta en el empaque. En esta operación se debe considerar la humedad del ambiente, ya que esta puede provocar una rehidratación de las partículas.

2.3.1.4. Envasado

La última etapa de la elaboración de una infusión frutal es el envasado y su respectivo etiquetado. Para la comercialización en bolsitas, el tamaño mínimo de partícula es de 1-1,5 milímetros. El empackado se puede hacer con diferentes materiales dependiendo de la presentación que se desee comercializar.

2.3.1.5. Análisis al producto

Posterior al envasado y durante el proceso de elaboración, es necesario llevar un control de la calidad del producto para asegurar al consumidor, que éste cumpla con sus requerimientos. Además del contenido nutritivo, es importante evaluar la apariencia, el aroma y la degustación de una infusión frutal.

2.3.1.5.1. Análisis del Contenido Fenólico Total (CFT)

La determinación de compuestos fenólicos se hace comúnmente por métodos espectrofotométricos, sin embargo existen otros como los quimiométricos y la precipitación de proteínas. La selección de un método para la determinación de compuestos fenólicos depende de los compuestos específicos a caracterizar.

El método espectrofotométrico con reactivo de Folin-Ciocalteu es ampliamente utilizado en la determinación del contenido fenólico total, no es un método específico, ya que detecta todos los grupos fenólicos que se encuentran en el extracto. El ensayo se realiza con 2,5 mililitros de 10 diluciones de reactivo de Folin-Ciocalteu, 2 mililitros de una solución al 7,5 por ciento de carbonato de sodio y 0,5 mililitros de la solución que contiene los compuestos fenólicos. La absorbancia se mide a 765 nanómetros después de calentar a 45 grados Celsius durante 15 minutos, se utiliza una mezcla de agua y reactivos como blanco (Shahidi et al., 2004). El contenido de fenólicos se expresa como equivalentes de un compuesto fenólico conocido (ácido gálico, ácido tánico.), por lo que es necesario elaborar previamente una curva de calibración.

2.3.1.5.2. Análisis de las propiedades sensoriales

La evaluación sensorial es una técnica de medición que consiste en el análisis de alimentos por medio de los sentidos. Anzaldúa-Morales (2005) describe algunas de las propiedades sensoriales evaluadas comúnmente:

- Color: percepción de la luz de una cierta longitud de onda reflejada por un objeto. Sus características son tono, intensidad y brillo. La medición de esta propiedad es más efectiva en forma instrumental que visual, la cual se efectúa usando escalas de color.
- Olor: percepción por medio de la nariz, de sustancias volátiles liberadas en los alimentos. Las características de esta propiedad son las notas, la intensidad y la persistencia.
- Sabor: atributo que combina el olor, aroma y gusto, y además se ve afectado por el color y la textura del alimento; diferencia a un alimento de otro. El sabor se puede medir por comparación o por afección, intensidad y persistencia.

De acuerdo con Anzaldua-Morales (2005), cuando es necesario evaluar más de dos muestras a la vez, o conocer más acerca de un producto, se puede recurrir a la medición del grado de satisfacción. Estas pruebas indican cuánto gusta o disgusta un alimento, para ello se utiliza las escalas hedónicas (cuyo nombre significa placer en griego) que pueden ser verbales o gráficas y de diferente puntuación.

Las escalas hedónicas verbales presentan a los evaluadores una descripción verbal de la sensación que la muestra les produce, incluye un punto central que indica que la muestra no gusta ni disgusta al evaluador. En la figura 6 se ilustra la escala hedónica verbal de nueve puntos.

Figura 6. **Escala hedónica verbal de nueve puntos**

ESCALA HEDÓNICA DE NUEVE PUNTOS	
Descripción	Valor
Me gusta muchísimo	9
Me gusta mucho	8
Me gusta bastante	7
Me gusta ligeramente	6
Ni me gusta ni me disgusta	5
Me gusta ligeramente	4
Me gusta bastante	3
Me disgusta mucho	2
Me disgusta muchísimo	1

Fuente: elaboración propia.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

A partir de la revisión bibliográfica acerca del proceso de elaboración de infusiones, se determinó los factores que influyen directamente en las propiedades del producto final, se seleccionó la temperatura de secado como variable de entrada a modificar para medir el efecto sobre los resultados. A partir de esta variable, se estableció qué parámetros se mantendrán constantes. Además de esto, se establecieron variables para las evaluaciones de contenido fenólico en producto final y materia prima, y para la evaluación sensorial del producto final.

En esta investigación se evaluó solamente el efecto de la temperatura de secado en las propiedades de interés debido a limitaciones del equipo a utilizar, lo cual no permitió que se evaluara el efecto del porcentaje de humedad relativa del aire alimentado al secador, o de la velocidad y dirección del flujo de aire. En la tabla I se detalla la definición de variables operativas con las que se trabajó en esta investigación.

Tabla I. Definición de variables operativas

No.	Variable	Formula Química	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			Constante	Variable	Controlables	No Controlables
Deshidratar la cáscara de manzana Granny Smith a 40 °C, 50 °C y 60 °C, utilizando un secador de bandejas con flujo transversal de aire por convección forzada.						
1.	Ácido málico 0,5%	$C_4H_6O_5$	X		X	
2.	Porcentaje de humedad final	_____	X		X	
3.	Temperatura de secado	_____		X	X	
Caracterizar el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca, utilizando el método de Folin-Ciocalteu.						
1.	Ácido tánico	$C_{76}H_{52}O_{46}$		X	X	
2.	Carbonato de sodio (10%)	Na_2CO_3	X		X	
3.	Acetona 70%	C_3H_6O	X		X	
4.	Reactivo de Folin- Ciocalteu	Sodio tungstato 2-hidrato 1- 10% $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ / Ácido orto- fosfórico 85% H_2PO_4 / Ácido clorhídrico 37% HCl	X		X	
6.	Contenido fenólico total	_____		X		X

Continuación de la tabla I.

Caracterizar el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C, a partir del método de Folin-Ciocalteu.						
1.	Acetona 70%	C ₃ H ₆ O	X		X	
2.	Reactivo de Folin-Ciocalteu	Sodio tungstato 2-hidrato 1-10% Na ₂ WO ₄ ·2H ₂ O/ Ácido orto-fosfórico 85% H ₂ PO ₄ / Ácido clorhídrico 37% HCl	X		X	
3.	Contenido fenólico total	_____		X		X
Evaluar el grado de aceptabilidad de una infusión frutal de cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C, mediante un análisis sensorial de escala hedónica verbal de nueve puntos.						
1.	Tiempo de molienda	_____	X		X	
2.	Concentración de infusión	_____	X		X	
3.	Tiempo de inmersión	_____	X		X	
4.	Grado de aceptabilidad en escala hedónica	_____		X		X

Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Variables independientes

Se denomina variable independiente, a aquella que puede cambiar libremente su valor, sin depender de otra variable. En la tabla II, se detalla el conjunto de variables independientes con de esta investigación.

Tabla II. Variables independientes

Variable	Objeto
Ácido tánico	Se utilizó seis volúmenes de ácido tánico para construir una curva patrón de contenido fenólico total.
Carbonato de sodio 10%	Se utilizó un volumen constante de carbonato de sodio para la determinación del contenido fenólico total de muestras y ácido tánico.
Acetona 70%	Se utilizó un volumen constante de acetona para la extracción de polifenoles.
Reactivo de Folin-Ciocalteu	Se utilizó un volumen constante de reactivo de Folin-Ciocalteu para determinar el contenido fenólico total del ácido tánico y de las muestras.
Ácido málico 0,5%	Se realizó una inmersión de las cáscaras previo a su procesamiento, en una solución de ácido málico al 0,5% para evitar su oxidación.
Porcentaje de humedad final	Se estableció un porcentaje de humedad constante, de 5%, para homogenizar las muestras secas.
Temperatura de secado	Se estableció una temperatura de secado (40 °C, 50 °C y 60 °C) para cada corrida para luego evaluar su efecto en el producto terminado.
Tiempo de molienda	Se sometió la cáscara deshidratada a una reducción de partícula, durante 5 minutos en licuadora.
Concentración de infusión de muestra para evaluación sensorial	Se utilizó una concentración constante en la preparación de muestras de infusión para todas las evaluaciones sensoriales.
Tiempo de inmersión de muestra para evaluación sensorial	Se sumergió la muestra de cáscara deshidratada a evaluar en agua hirviendo durante un tiempo constante, para homogenizar las propiedades de la bebida en todas las evaluaciones sensoriales.

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables dependientes

Se denomina variable dependiente, a aquella cuyos valores dependen de los que tome otra variable. En la tabla III, se detalla el conjunto de variables dependientes con que se trabajó en esta investigación.

Tabla III. Variables dependientes

Variable	Objeto
Contenido fenólico total de muestra fresca	Se determinó el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith previo al secado.
Contenido fenólico total de muestra deshidratada	Se determinó el contenido fenólico total de las cáscaras deshidratadas a las diferentes temperaturas de secado (40 °C, 50 °C y 60 °C).
Grado de aceptabilidad en escala hedónica	Se evaluó el grado de satisfacción de jueces de tipo consumidor, para la infusión procesada a las diferentes temperaturas de secado (40 °C, 50 °C y 60 °C).

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

En la investigación se evaluó el efecto de la temperatura de secado en el contenido fenólico total y el grado de aceptabilidad de la cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*), para su aprovechamiento en la elaboración de infusiones. El estudio se llevó a cabo a nivel laboratorio, enfocando su aplicación a la industria alimenticia.

3.3. Recursos humanos disponibles

Los recursos humanos de una investigación, son las personas que participan en la planificación, ejecución y presentación de resultados de la misma. El recurso humano de esta investigación es:

Karla Lisseth Caal López	Tesista
Inga. Hilda Palma de Martini	Asesora

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos materiales consisten en las materias primas, materias complementarias, equipos, cristalería y reactivos utilizados para la ejecución de la investigación.

- Equipo
 - Planchas para agitación
 - Agitadores magnéticos
 - Centrífuga
 - Balanza de humedad
 - Secador de bandejas de flujo transversal
 - Licuadora
 - Espectrofotómetro
 - Balanza analítica

- Cristalería
 - Tubos de ensayo con tapadera

- Beaker de 50 ml, 100 ml y 200 ml
 - Earlenmayer de 200 ml
 - Celda para espectrofotómetro
 - Barillas de agitación
 - Termómetro
 - Embudos
 - Pipetas volumétricas
- Materia prima y reactivos
 - Cáscara fresca de manzana Granny Smith
 - Acetona al 70%
 - Ácido tánico
 - Carbonato de sodio
 - Ácido málico
 - Reactivo de Folin-Ciocalteu

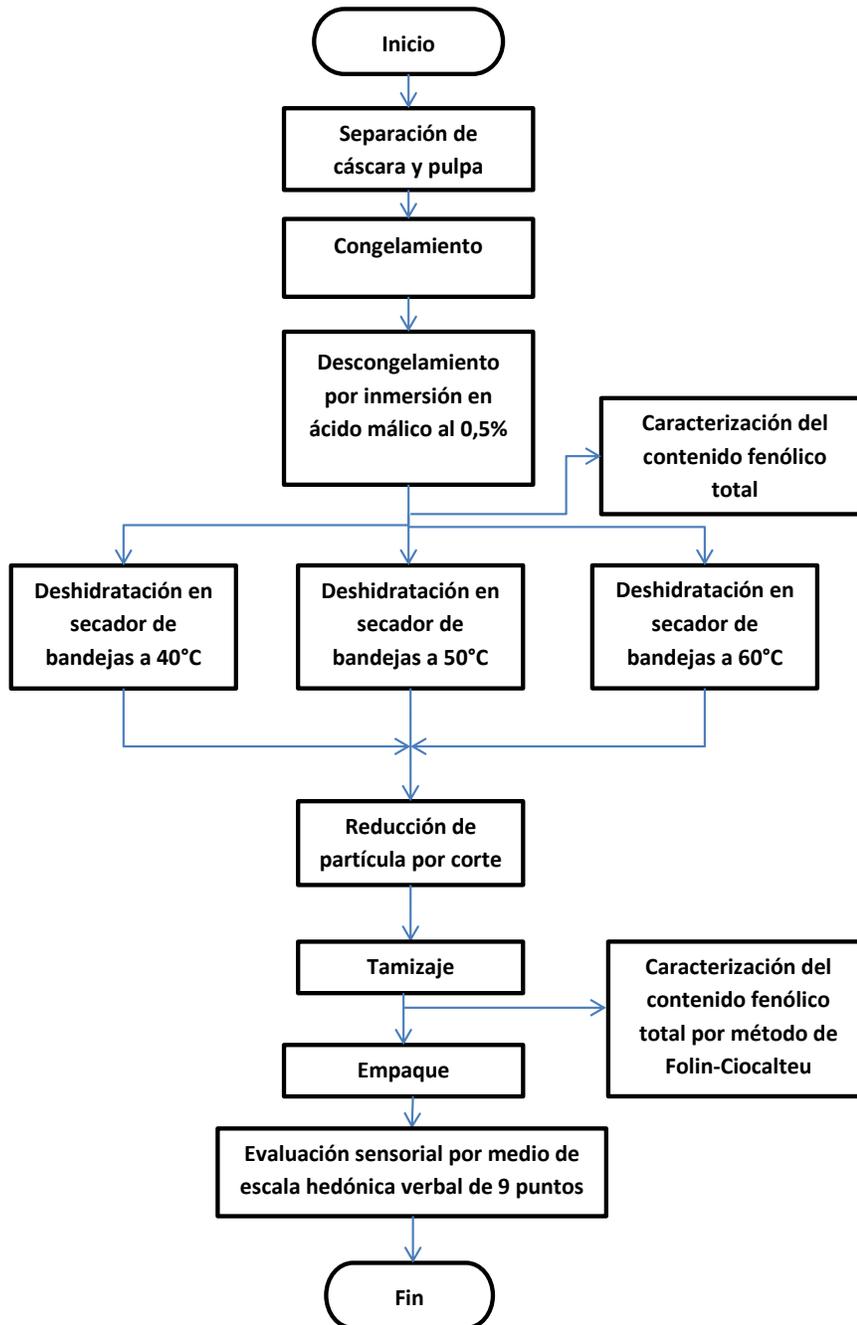
3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

A partir de la revisión bibliográfica y los recursos disponibles, se estableció un procedimiento para el cumplimiento de todos los objetivos de la investigación.

3.5.1. Diseño preliminar

Para establecer la secuencia de las operaciones a llevar a cabo, se elaboró un diagrama de flujo del proceso preliminar de la investigación (ver figura 7).

Figura 7. Diagrama del proceso preliminar



Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Procedimiento experimental

A continuación se describe el procedimiento experimental llevado a cabo para el cumplimiento de cada objetivo, así como los materiales y equipos utilizados.

3.5.2.1. Deshidratar la cáscara de manzana Granny Smith a 40 °C, 50 °C y 60 °C, utilizando un secador de bandejas con flujo transversal de aire por convección forzada

La deshidratación de la cáscara de manzana Granny Smith a tres diferentes temperaturas, se llevó a cabo en un secador de bandejas con condiciones de equipo constantes, a excepción del porcentaje de humedad relativa del aire alimentado.

- Material y equipo
 - Secador de bandejas de flujo transversal con cámara de secado de 136,2 centímetros de alto y 96,2 centímetros de ancho.
 - Balanza de humedad.
 - Bolsas de polietileno de baja densidad.
 - Agua destilada.
 - 1 balanza.
 - 1 cronómetro.

- Reactivos
 - Ácido málico a 0,5 por ciento.

- Procedimiento
 - Previo a la deshidratación, se descongeló hasta alcanzar la temperatura ambiente, sumergiendo la cáscara en una solución de ácido málico al 0,5 por ciento durante media hora.
 - Se secó 5 libras de cáscara, a la temperatura de secado a evaluar (40 grados Celsius, 50 grados Celsius o 60 grados Celsius) en el secador de bandejas con flujo transversal de aire, hasta un porcentaje de humedad de 5 por ciento. El material se colocó en bandejas de malla de 75,0 centímetros de largo y 75,0 centímetros de ancho, las bandejas se colocaron con una separación entre ellas de 13,5 centímetros y 13,3 centímetros de separación entre el borde de la bandeja y la puerta del secador.

3.5.2.2. Caracterización del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca, utilizando el método de Folin-Ciocalteu

Para la caracterización del contenido fenólico total de la cáscara fresca de manzana Granny Smith, se utilizó el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu.

- Material y equipo
 - Agua destilada
 - 1 pipeta 10 mililitros
 - 1 probeta 100 mililitros

- 1 balanza analítica
 - 1 beaker 50 mililitros
 - 1 beaker 100 mililitros
 - 3 beaker 200 mililitros
 - 9 balones aforados 25 mililitros
 - 1 balón aforado 200 mililitros
 - 9 tubos de ensayo con tapadera
 - 1 centrífuga
 - 1 espectrofotómetro ultravioleta
 - 1 cronómetro
- Reactivos
 - Ácido málico
 - Ácido tánico
 - Carbonato de sodio
 - Acetona 70 por ciento
 - Reactivo de Folin-Ciocalteu
- Procedimiento
 - Se llevó a cabo la preparación de soluciones para curva patrón.
 - Ácido tánico
 - ✓ Se pesó 10 miligramos de ácido tánico y se disolvió en 10 mililitros de agua destilada.
 - ✓ Se tomó 1 mililitros de la solución anterior y se diluyó en 9 mililitros de agua destilada.
 - Carbonato de sodio al 10 por ciento

- ✓ Se pesó 20 gramos de Na_2CO_3 y se aforó a 200 mililitros con agua destilada a 20 grados Celsius.
- Se llevó a cabo la preparación de tubos para determinación de contenido fenólico total en ácido tánico de acuerdo al esquema de la tabla IV.

Tabla IV. **Esquema de pipeteo para curva patrón**

Número de tubo	Ácido tánico (ml)	Reactivo de Folin-Ciocalteu (ml)	Carbonato de sodio al 10% (ml)
Blanco	0,000	0,400	0,800
P ₁	0,250	0,400	0,800
P ₂	0,500	0,400	0,800
P ₃	1,000	0,400	0,800
P ₄	1,500	0,400	0,800
P ₅	2,000	0,400	0,800
P ₆	2,500	0,400	0,800

Fuente: Bolaños, P., Determinación de las propiedades antioxidantes de los jugos de fruta producidos industrialmente disponibles para su consumo en el área metropolitana de la Ciudad de Guatemala, p. 35.

- El contenido de cada tubo se aforó a 25 mililitros en un balón.
- Cada solución se colocó en baño de maría a una temperatura de 90-100 grados Celsius por tres minutos, en tubos de ensayo con tapadera.
- Se dejó enfriar el contenido de los tubos y se leyó la absorbancia correspondiente a cada solución a 765 nanómetros.
- Manejo de materia prima
 - Se congeló la materia prima inmediatamente después de su recepción.

- Previo al análisis, se descongeló la materia prima, sumergiéndola en una solución de ácido málico al 0,5 por ciento durante 30 minutos.
- Extracción de polifenoles y preparación de muestra
 - Se tomó una muestra de 50 gramos de cáscara fresca y se trituró durante cinco minutos en una licuadora.
 - Se tomó una muestra de 10 gramos de cáscara fresca triturada y se mezcló con 90 mililitros de acetona al 70 por ciento.
 - Se homogenizó la mezcla por un minuto a temperatura ambiente.
 - Los extractos fueron agitados a temperatura ambiente por 60 minutos.
 - Se centrifugó cada tubo a 3 500 revoluciones por minuto durante 15 minutos.
 - Se separó la fase menos densa para análisis.
- Se llevó a cabo la preparación de tubos para determinación de contenido de fenoles en muestras, de acuerdo al esquema de la tabla V.

Tabla V. **Esquema de pipeteo para muestras**

Número de tubo	Muestra (ml)	Reactivo de Folin-Ciocalteu (ml)	Carbonato de sodio al 10% (ml)
P ₁	1,500	0,400	0,800

Fuente: elaboración propia.

- El contenido de cada tubo se aforó a 25 mililitros en un balón.

- Cada solución se colocó en baño de maría a una temperatura de 90-100 grados Celsius por tres minutos, en tubos de ensayo con tapadera.
- Se dejó enfriar el contenido de los tubos y se leyó la absorbancia correspondiente a cada solución a 765 nanómetros.

3.5.2.3. Caracterización del contenido fenólico total la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C, a partir del método de Folin-Ciocalteu

Para la caracterización del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40, 50 y 60 grados Celsius, se utilizó el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu.

- Material y equipo
 - Bolsas de polietileno de baja densidad
 - Agua destilada
 - 1 pipeta 10 mililitros
 - 1 probeta 100 mililitros
 - 1 balanza analítica
 - 1 beaker 50 mililitros
 - 1 beaker de 100 mililitros
 - 3 beaker 200 mililitros
 - 1 balón aforado 200 mililitros
 - 3 balones aforados 25 mililitros
 - 3 tubos de ensayo con tapadera
 - 1 centrífuga

- 1 espectrofotómetro
- 1 cronómetro
- Reactivos
 - Carbonato de sodio
 - Acetona 70 por ciento
 - Reactivo de Folin-Ciocalteu
- Procedimiento
 - Se redujo el tamaño de partícula por corte con licuadora, de 150 gramos de cáscara deshidratada, durante 5 minutos.
 - Se tamizó el producto triturado para seleccionar un rango de tamaño de partícula de 0,833 milímetros a 1,651 milímetros.
 - El producto seleccionado se separó y almacenó en bolsas de polietileno de baja densidad.
 - Se preparó la muestra.
 - Se mezcló 10 gramos de cáscara deshidratada seleccionada, con 90 mililitros de acetona al 70 por ciento.
 - Se homogenizó la mezcla por un minuto a temperatura ambiente.
 - Se agitó la mezcla a temperatura ambiente por 60 minutos.
 - Se centrifugó la muestra a 3 500 revoluciones por minuto durante 15 minutos.
 - Se separó la fase menos densa para análisis.
 - Se llevó a cabo la preparación tubos para determinación de contenido fenólico en muestras, de acuerdo al esquema de la tabla VI.

Tabla VI. **Esquema de pipeteo para muestras**

Número de tubo	Muestra (ml)	Reactivo de Folin-Ciocalteu (ml)	Carbonato de sodio al 10% (ml)
P₁	1,500	0,400	0,800

Fuente: elaboración propia.

- El contenido de cada tubo se aforó a 25 mililitros en un balón.
- Se filtró el contenido del balón.
- Una alícuota de la solución se colocó en baño de maría a una temperatura de 90 – 100 grados Celsius por un minuto, en un tubo de ensayo con tapadera.
- Se dejó enfriar el contenido del tubo y se leyó la absorbancia correspondiente a 765 nanómetros.

3.5.2.4. Evaluación del grado de aceptabilidad de una infusión frutal de cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C, mediante un análisis sensorial de escala hedónica verbal de nueve puntos

Para el análisis del grado de aceptabilidad de una infusión elaborada a base de cáscara de manzana Granny Smith deshidratada, se llevó a cabo una evaluación sensorial de escala hedónica verbal de nueve puntos con 30 evaluadores.

- Material y equipo
 - Agua potable
 - 1 Balanza

- 1 medidor de alimentos líquidos
 - 1 cronómetro
 - 3 vasos desechables
 - 1 termómetro
 - Boletas de evaluación
- Procedimiento
 - Se preparó la infusión, utilizando 2,0 gramos de cáscara deshidratada seleccionada y 1,0 gramos de mezcla de especias molidas.
 - Se proporcionó a cada uno de los 30 panelistas una boleta para evaluación de grado de satisfacción de escala hedónica verbal de nueve puntos. Vea boleta en anexo 1.
 - Se solicitó que prepararan la bebida con 250 mililitros de agua a 80 grados Celsius y posteriormente completaran la boleta indicando su grado de satisfacción.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

A la cáscara de manzana Granny Smith fresca y deshidratada a 40, 50 y 60 grados Celsius, se le realizó una prueba química que consistió en la cuantificación del contenido fenólico total. A la infusión frutal preparada a partir de la cáscara deshidratada a 40, 50 y 60 grados Celsius, se le realizó una evaluación organoléptica por medio de un análisis estadístico de encuestas de respuesta cerrada. Ambas variables fueron relacionadas matemáticamente con la temperatura de secado para determinar el grado de correlación.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos obtenidos en el análisis del contenido fenólico total y el grado de aceptabilidad de la cáscara de manzana, fueron ordenados y procesados para obtener los resultados de la investigación.

3.7.1. Tablas de tabulación de datos

Los datos obtenidos en el análisis espectrofotométrico para el contenido fenólico de la cáscara de manzana Granny Smith fresca, fueron recopilados en base al esquema de la tabla VII.

Tabla VII. **Absorbancias obtenidas para muestras de cáscara fresca**

Corrida	Repetición	Absorbancia
1	1	0,897
	2	0,823

Fuente: datos obtenidos en Espectrofotómetro *Thermo Scientific, Genesys 10s UV-Visible* de doble haz, Laboratorio de Análisis Físico Químico –LAFIQ-, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Los datos obtenidos en el análisis espectrofotométrico para el contenido fenólico total en cáscara de manzana Granny Smith deshidratada, fueron recopilados utilizando el esquema de las tablas VIII, IX, X.

Tabla VIII. **Absorbancias obtenidas para muestras de cáscara deshidratada a 40 °C**

Corrida	Repetición	Absorbancia
1	1	0,490
	2	0,410
2	1	0,347
	2	0,364
3	1	0,379
	2	0,388

Fuente: datos obtenidos en Espectrofotómetro *Thermo Scientific, Genesys 10s UV-Visible* de doble haz, Laboratorio de Análisis Físico Químico –LAFIQ-, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla IX. **Absorbancias obtenidas para muestras de cáscara deshidratada a 50 °C**

Corrida	Repetición	Absorbancia
1	1	0,529
	2	0,472
2	1	0,473
	2	0,479
3	1	0,500
	2	0,479

Fuente: datos obtenidos en Espectrofotómetro *Thermo Scientific, Genesys 10s UV-Visible* de doble haz, Laboratorio de Análisis Físico Químico –LAFIQ-, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla X. **Absorbancias obtenidas para muestras de cáscara deshidratada a 60 °C**

Corrida	Repetición	Absorbancia
1	1	0,380
	2	0,327
2	1	0,365
	2	0,340
3	1	0,361
	2	0,389

Fuente: datos obtenidos en Espectrofotómetro Thermo Scientific, Genesys 10s UV-Visible de doble haz, Laboratorio de Análisis Físico Químico –LAFIQ-, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Los datos obtenidos para el análisis de aceptabilidad de una infusión frutal elaborada a partir de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada, fueron recopilados en el esquema de la tabla XI.

Tabla XI. **Ponderación en escala hedónica para infusión de cáscara de manzana**

Boleta	Valor de escala hedónica		
	40 °C	50 °C	60 °C
1	9	7	8
2	7	8	9
3	8	9	7
4	9	8	7
5	6	8	8
6	6	6	6
7	5	5	6
8	8	7	7

Continuación de la tabla XI.

9	4	7	4
10	6	6	5
11	6	5	7
12	7	8	6
13	7	8	5
14	9	6	8
15	7	5	7
16	6	6	6
17	6	6	5
18	6	7	7
19	6	6	6
20	6	6	7
21	8	7	6
22	7	7	8
23	9	6	8
24	9	7	8
25	7	8	9
26	7	8	6
27	7	8	5
28	8	9	7
29	9	8	7
30	6	8	8

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en esta investigación están expresados como valores promedio y sus respectivas desviaciones estándar, las cuales indican el grado de variabilidad entre un valor puntual y la media. Se analizó el coeficiente de correlación de Pearson del modelo matemático para el comportamiento del contenido fenólico total y el grado de aceptabilidad de una infusión de cáscara

de manzana Granny Smith deshidratada, en función de la temperatura de secado.

Se llevó a cabo una Prueba de Tukey para determinar la existencia de diferencias significativas entre los valores medios obtenidos para las tres temperaturas de secado. Se estableció un nivel de confianza del 95 por ciento, rechazando los valores de $p > 0,05$. Ver datos calculados en apéndice 4.

3.8.1. Desviación estándar

Para la deshidratación de la cáscara de manzana, se utilizó la temperatura de secado como variable. Se realizó tres corridas para cada temperatura de secado (40 °C, 50 °C y 60 °C), con un total de nueve deshidrataciones. Posteriormente, se realizó un análisis químico a dos muestras de cada deshidratación y dos de cáscara fresca, para un total de 20 pruebas químicas. El número de corridas se estableció con el fin de garantizar la consistencia del comportamiento de las variables. El análisis químico se llevó a cabo en duplicado para garantizar la precisión del método analítico.

Se seleccionó la corrida con mayores valores de contenido fenólico total y se evaluó su grado de aceptabilidad para las tres temperaturas de secado (40 °C, 50 °C y 60 °C), utilizando un panel de 30 degustadores.

La desviación estándar del conjunto de valores, se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde:

s = desviación estándar del conjunto de datos

x_i = resultado obtenido para determinada muestra

\bar{x} = promedio de resultados obtenidos para todas las muestras

n = número de muestras analizadas

3.8.2. Coeficiente de correlación de Pearson

Con el fin de analizar la relación entre la temperatura de secado y el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada y la relación entre la temperatura de secado y la aceptabilidad de una infusión frutal elaborada en base a la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada, se llevó a cabo una prueba estadística de coeficiente de correlación de Pearson.

La prueba de coeficiente de correlación de Pearson, consiste en el análisis de la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón, el coeficiente se simboliza con la letra r y se calcula a partir de las puntuaciones obtenidas en una muestra en dos variables. Se relacionan las puntuaciones obtenidas de una variable con las puntuaciones obtenidas de otra variable, en las mismas muestras.

El coeficiente de Pearson varía de -1,00 a +1,00, como se observa en la tabla XII.

Tabla XII. **Coefficiente r de Pearson y tipo de correlación**

Coefficiente r de Pearson	Tipo de correlación
-1,00	Correlación negativa perfecta.
-0,90	Correlación negativa muy fuerte.
-0,75	Correlación negativa considerable.
-0,50	Correlación negativa media.
-0,10	Correlación negativa débil.
0,00	No existe correlación alguna entre las variables.
+0,10	Correlación positiva débil.
+0,50	Correlación positiva media.
+0,75	Correlación positiva considerable.
+0,90	Correlación positiva muy fuerte.
+1,00	Correlación positiva perfecta.

Fuente: Hernández, R. et al., Metodología de la investigación, p. 384.

El signo indica la dirección de la correlación y el valor numérico, la magnitud de la correlación. Se debe reportar junto al coeficiente de correlación, si éste es o no significativo, esto para un valor de nivel de confianza establecido. Para esta investigación se tomaron los valores menores a 0,05 como significativos, debido a que se consideró un 95 por ciento de confianza en que la correlación fuera verdadera y 5 por ciento probabilidad de error.

3.8.2.1. Prueba de Tukey

La prueba de Tukey es un método para comparar los pares de medias de tratamientos. El método consiste en probar la hipótesis nula, con α siendo igual al nivel global de significancia, cuando las muestras tienen tamaños iguales, y en el máximo α , cuando las muestras tienen tamaños diferentes. Con esta prueba es posible determinar si existe o no una diferencia significativa entre las posibles combinaciones de pares de medias de todos los tratamientos analizados.

3.9. Plan de análisis de los resultados

Los datos obtenidos para los análisis químicos y sensoriales, fueron analizados mediante métodos matemáticos y estadísticos para evaluar el comportamiento de las variables de interés.

3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

El análisis de los datos consistió en la determinación del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca y seca, a partir de las absorbancias obtenidas para cada muestra, utilizando una curva patrón de ácido tánico para expresar dichos contenidos en valores equivalentes. En base a esta información, se obtuvo un modelo matemático para el comportamiento del contenido fenólico total en función de la temperatura de secado.

Los datos obtenidos de la evaluación del grado de aceptabilidad de una infusión de cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a temperaturas de 40, 50 y 60 grados Celsius, fueron promediados y a partir de ellos se obtuvo un modelo matemático para expresar su comportamiento en función de la temperatura de secado.

Se analizó la diferencia estadística entre los datos obtenidos para las variables en función de la temperatura de secado. Ver datos calculados en apéndice 4.

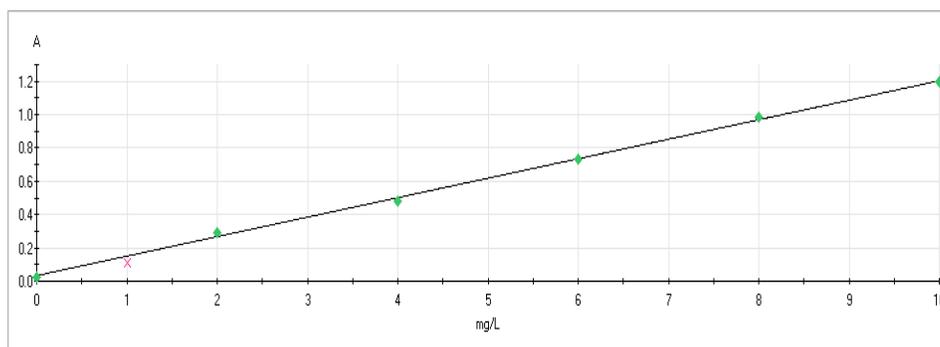
3.9.1.1. Determinación del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca

La determinación del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca, se llevó a cabo a partir el método de Folin-Ciocalteu, el cual se describe a continuación.

- Elaboración de curva patrón

La curva patrón se elaboró utilizando el equipo Espectrofotómetro *Thermo Scientific* modelo *Genesys 10s UV-Visible* de doble haz, tomando la medida de absorbancia para siete concentraciones de ácido tánico (de 0 a 10 mg/L), obteniendo los siguientes resultados. La curva obtenida se muestra en la figura 8.

Figura 8. Curva patrón para determinación del contenido fenólico total por el método Folin-Ciocalteu



Fuente: espectrofotómetro *Thermo Scientific*, *Genesys 10s UV-Visible*, Laboratorio de Análisis Físico Químico -LAFIQ-, Sección de Química Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

La ecuación de la curva patrón obtenida con el software del equipo es la siguiente:

$$A=0,1169*[C]+3,3947E-2 \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Donde:

A = absorbancia

[C] = concentración de ácido tánico (mg/L)

Para los cálculos de esta investigación se utilizó la ecuación de la curva patrón, despejada para el valor de concentración:

$$[C]=\frac{A-3,3947E-2}{0.1169} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

Donde:

A = absorbancia

[C] = concentración de ácido tánico (mg/L)

- Determinación del contenido fenólico total

Para la determinación del contenido fenólico total de la cáscara de manzana fresca, se midió la absorbancia del extracto en acetona de cáscara de manzana Granny Smith fresca, con un tamaño de partícula de 0,833 milímetros a 1 651 milímetros, utilizando el método de Folin-Ciocalteu para Determinación de Fenoles Totales.

A partir de la absorbancia obtenida, se utilizó la ecuación 3, para calcular la concentración de fenoles totales en el extracto. Seguido a esto se utilizó la siguiente ecuación para determinar los miligramos equivalentes de ácido tánico en la cáscara de manzana Granny Smith fresca.

$$\text{Eq. ácido tánico} = \frac{V_{\text{sol}} * [C]}{V_{\text{muestra}} * \text{Relación de extracción}} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Donde:

Eq. ácido tánico = contenido fenólico total (mg equivalentes de ácido tánico/g cáscara)

V_{sol} = volumen de solución (L)

[C] = concentración de solución (mg/L)

V_{muestra} = volumen utilizado del extracto para preparar la solución (L)

Relación de extracción = relación de cáscara de manzana/acetona utilizada en la extracción (g/L)

- Determinación del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 grados Celsius, 50 grados Celsius y 60 grados Celsius

Para la determinación del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 grados Celsius, 50 grados Celsius y 60 grados Celsius, se utilizó la ecuación 3 para determinar concentración de fenoles totales siguiendo la metodología de Folin-Ciocalteu para Determinación de Fenoles Totales, y la ecuación 4 para determinar miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara deshidratada.

Con fines comparativos, se calculó también el contenido fenólico total de la cáscara de manzana fresca sobre base seca, utilizando ecuación 5.

$$\text{CFT}_{\text{BS}} = \frac{100 * \text{Eq. ácido tánico}}{(100 - \%H)} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

Donde:

CFT_{BS} = contenido fenólico total en base seca (mg equivalentes de ácido tánico/g cáscara seca)

Eq. ácido tánico = contenido fenólico total (mg equivalentes de ácido tánico/g cáscara fresca)

%H = porcentaje de humedad de cáscara fresca

- Elaboración de modelo matemático del comportamiento del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada, en función de la temperatura de secado
 - Cálculo del promedio de valores obtenidos para el contenido de fenoles totales.

Para la determinación de valores promedio para los gramos equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara de manzana obtenidos para cada muestra, se utilizó la siguiente ecuación.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad [\text{Ecuación 6}]$$

Donde:

\bar{x} = valor promedio de contenido fenólico total (mg/g)

x_i = valor contenido fenólico total obtenido para determinada muestra (mg/g)

n = número de muestras

- Obtención del grado de correlación entre los datos

Con los valores promedio de contenido fenólico total por gramo de cáscara de manzana para cada temperatura de secado incluyendo la muestra fresca, se realizó una gráfica de dispersión de los puntos colocando en el eje x la temperatura de secado y en el eje y el contenido fenólico total, para esto se utilizó el programa Microsoft Excel ® 2007. Utilizando la opción de regresión lineal del programa, se obtuvo una ecuación lineal para la dispersión de puntos, así como el valor del coeficiente de determinación (R^2).

El valor del coeficiente de correlación (R) se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$R = \sqrt{R^2} \quad [\text{Ecuación 7}]$$

Donde:

R = coeficiente de correlación de Pearson

R^2 = coeficiente de determinación

Se calculó la diferencia estadística entre los valores medios obtenidos por medio de la Prueba de Tukey, utilizando el programa Infostat®.

3.9.1.2. Determinación del grado de aceptabilidad de una infusión frutal de cáscara Granny Smith deshidratada

Para facilitar el análisis de los datos obtenidos en la evaluación sensorial, se asignó una escala numérica a cada ponderación verbal, como se detalla a continuación en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Ponderación de escala hedónica verbal**

Escala verbal	Escala numérica
Me disgusta muchísimo	1
Me disgusta mucho	2
Me disgusta bastante	3
Me disgusta ligeramente	4
Ni me gusta ni me disgusta	5
Me gusta ligeramente	6
Me gusta bastante	7
Me gusta mucho	8
Me gusta muchísimo	9

Fuente: elaboración propia.

Se calculó el promedio de los 30 datos obtenidos para cada temperatura y se obtuvo una correlación matemática para el comportamiento observado, así como la diferencia estadística entre los mismos. Se calculó la diferencia estadística entre los valores medios por medio de la Prueba de Tukey, utilizando el programa Infostat®.

3.9.2. Programas utilizados para análisis de datos

Microsoft Excel® 2007: hoja de cálculo electrónica utilizada para automatizar diversas operaciones matemáticas, realizar el análisis estadístico de datos y construir gráficos para cumplir con los objetivos de la investigación.

Infostat® Versión Estudiantil: software desarrollado por la Universidad Nacional de Córdoba, es una herramienta utilizada para la obtención de estadísticas descriptivas, gráficas, métodos de modelación estadística y análisis multivariado.

4. RESULTADOS

4.1. Contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca

El contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca, obtenido por el método de Folin-Ciocalteu para la Determinación de Fenoles Totales, se detalla en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca**

Contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith (mg AT/g PF)
10,595 ± 0,671

Fuente: elaboración propia.

4.2. Contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C

En la tabla XV se detalla el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40, 50 y 60 grados Celsius, obtenido a partir del método de Folin-Ciocalteu para la Determinación de Fenoles Totales.

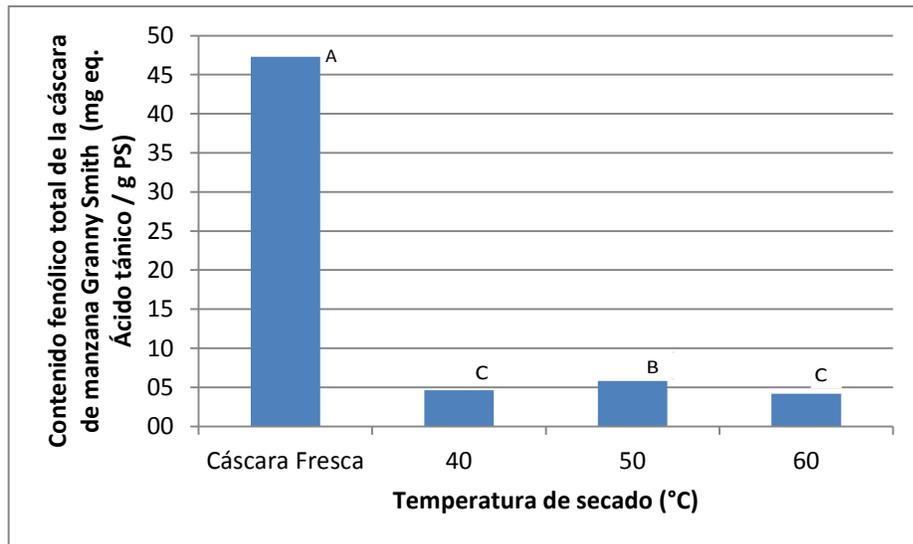
Tabla XV. **Contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C**

Descripción de la muestra		Contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada (mg equivalentes AT/g PS)
Muestra deshidratada a 40 °C	1	5,336 ± 0,726
	2	4,124 ± 0,154
	3	4,483 ± 0,816
Muestra deshidratada a 50 °C	1	5,984 ± 0,517
	2	5,670 ± 0,054
	3	5,843 ± 0,190
Muestra deshidratada a 60 °C	1	4,099 ± 0,481
	2	4,086 ± 0,227
	3	4,374 ± 0,254

Fuente: elaboración propia.

En la figura 9 se presenta el efecto de la temperatura de secado en el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 9. **Efecto de la temperatura de secado en el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada**

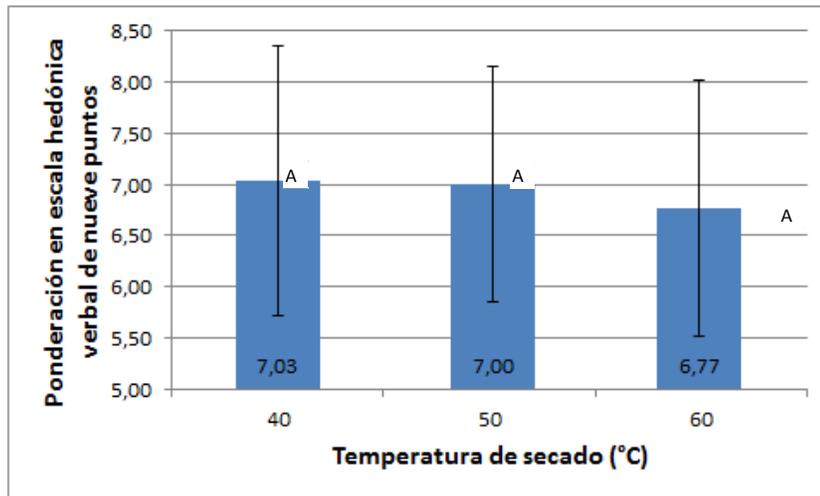


Fuente: elaboración propia.

4.3. **Grado de aceptabilidad de una infusión frutal de cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C**

En la figura 10 se presenta el efecto de la temperatura de secado en el grado de aceptabilidad de una infusión de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 10. **Efecto de la temperatura de secado en el grado de aceptabilidad de infusión frutal de cáscara de manzana Granny Smith deshidratada**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVI se presenta el modelo matemático para el comportamiento del contenido fenólico total y el grado de aceptabilidad de una infusión de cáscara de manzana Granny Smith deshidratada, en función de la temperatura de secado.

Tabla XVI. **Comportamiento del contenido fenólico total y grado de aceptabilidad de la cáscara de manzana Granny Smith, en función de la temperatura de secado**

Ecuación	Rango (°C)	Coefficiente de correlación (R)
Contenido fenólico total = $-0,0231 \cdot T + 6,0433$	[40, 60]	0,272
Grado de aceptabilidad = $-0,0133 \cdot T + 7,6$	[40, 60]	0,918

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En esta investigación se evaluó el efecto de la temperatura de secado en el contenido fenólico total y el grado de aceptabilidad de la cáscara de manzana Granny Smith, para su aprovechamiento en la elaboración de infusiones frutales.

La materia prima se obtuvo como subproducto de la elaboración de pasteles de manzana en una industria panificadora de la ciudad de Guatemala, en forma de tiras de aproximadamente 50 centímetros de largo y 3 milímetros de espesor. La materia prima se recibió no más de 24 horas después del pelado en el proceso de panificación, y se mantuvo en congelación en toda la cadena de distribución como control microbiológico. Posterior a la recepción, se almacenó en congelación a 4 grados Celsius durante dos días, para luego ser procesada. Se descongeló la cáscara mediante inmersión en una solución acuosa de ácido málico al 0,5 por ciento, hasta alcanzar la temperatura ambiente, posteriormente se eliminó de forma mecánica el exceso de agua.

El secado se llevó a cabo en un secador de bandejas con flujo de aire transversal, en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEVVE) ubicado en la Ciudad Universitaria, zona 12 de la ciudad de Guatemala. Se secó en lotes de cinco libras, a las temperaturas de 40, 50 y 60 grados Celsius, utilizando un flujo de aire con velocidad constante de 4 metros por segundo, utilizando bandejas de malla metálica de 75 centímetros de ancho y 75 centímetros de largo, con un espesor de lecho de 3 milímetros. El tamaño de la materia prima no se estandarizó previo al secado, para evitar la oxidación de

polifenoles por manipulación y exposición al ambiente. Para cada temperatura de secado, se realizaron tres repeticiones.

Se redujo el tamaño de la cáscara deshidratada, utilizando una licuadora industrial, y luego se clasificó con un tamiz obteniendo un rango de tamaño de partícula de 0,833 milímetros a 1,651 milímetros. El material se almacenó en bolsas de polietileno de baja densidad para evitar la rehidratación y posteriormente en un recipiente plástico con bloqueo de luz para evitar oxidación. La extracción de polifenoles para el análisis químico, se hizo con maceración dinámica utilizando acetona al 70 por ciento como medio de extracción.

El contenido fenólico total se evaluó en cáscara fresca y en cáscara deshidratada con el método de Folin-Ciocalteu. Los resultados de esta investigación fueron expresados como equivalentes de ácido tánico, a pesar de que la mayoría de literatura se encuentra expresada en equivalentes de ácido gálico. Respecto al uso de ácido tánico como patrón, el estudio realizado por Colina, et al. (2012), indica que experimentalmente los resultados son comparables a los obtenidos con ácido gálico.

En la tabla XIV, se puede observar que para la cáscara fresca se obtuvo un contenido fenólico total de $10,595 \pm 0,671$ miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara fresca, lo cual es 1,5 veces lo reportado por Henríquez, et al. (2010). La variación entre valores reportados para una misma variedad, en diferentes estudios, se debe a que el contenido de compuestos fenólicos en manzanas se ve afectado por factores como: madurez, etapa de cosecha, procesamiento, condiciones culturales, desarrollo de infecciones y origen geográfico (Shahidi et al., 2004).

Al comparar la tabla XIV con la tabla XV, se observa que el contenido fenólico por gramo disminuyó como consecuencia de la deshidratación de la cáscara, obteniendo un valor mínimo de $4,086 \pm 0,227$ miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara deshidratada, para el secado a 60 grados Celsius, y un valor máximo de $5,984 \pm 0,517$ miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara deshidratada, para el secado a 50 grados Celsius. De acuerdo con Di Scala, et al. (2010), la disminución del contenido total de polifenoles se puede deber a la unión de polifenoles con el grupo amino de las proteínas, lo cual modifica las propiedades saludables de los mismos y altera el mecanismo de las reacciones de pardeamiento, los polifenoles pueden sufrir otras alteraciones en su estructura que aún no han sido determinadas por métodos analíticos.

Es importante mencionar que las reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático (reacciones de Maillard y caramelización) que ocurren en la cáscara de manzana debido a la presencia de oxígeno en el ambiente, el alto contenido de azúcares de la cáscara de manzana, la presencia de proteínas como las enzimas peroxidasa y polifenol oxidasa que disminuyen el contenido de polifenoles, y la exposición a temperaturas elevadas, influyen también en el resultado obtenido para el contenido fenólico total.

El pardeamiento enzimático es importante en la elaboración de té, sin embargo puede ser dañino cuando causa degradación de la calidad del producto como decoloración o desarrollo de sabores y olores residuales. Algunas operaciones como el corte, extracción, almacenaje, congelamiento y descongelamiento, pueden causar cambios indeseados por pardeamiento en frutas y plantas. La velocidad con que ocurre el pardeamiento depende de factores como el pH, la temperatura y presencia de iones metálicos (Shahidi et al., 2004).

De acuerdo con Henríquez, et al. (2010), la actividad de polifenol oxidasa debe ser controlado durante la deshidratación de la cáscara de manzana, ya que ésta es muy susceptible al pardeamiento enzimático que puede ocurrir durante la preparación de la materia prima previo al secado y tener un impacto significativo en el contenido final de compuestos antioxidantes.

En esta investigación se utilizó una solución acuosa al 0,5 por ciento de ácido málico para retardar las reacciones de pardeamiento enzimático mediante una disminución en el pH, considerando que el pH óptimo para polifenol oxidasas varía entre 4 y 7. Usualmente se utiliza ácido cítrico, ascórbico, málico o fosfórico en la inhibición de enzimas, se seleccionó el ácido málico por ser uno de los componentes naturales del sabor de la cáscara de manzana.

Durante la preparación de los extractos, se observó la formación de precipitados en las muestras deshidratadas a 40, 50, y 60 grados Celsius, por lo que se tuvo la necesidad de filtrar y centrifugar cada muestra antes del análisis espectrofotométrico. De acuerdo con Shahidi et al. (2004), otra de las consecuencias de las reacciones entre compuestos polifenólicos y proteínas, es que se puede producir turbidez y precipitados en bebidas.

En la figura 9 se observa el efecto de la temperatura de secado en el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith, donde todos los valores están calculados sobre una base seca de material. Existe una diferencia estadísticamente significativa entre el valor promedio obtenido para el contenido fenólico total de la cáscara fresca y las tres temperaturas de secado, sin embargo, los valores obtenidos para 40 y 60 grados Celsius, son estadísticamente iguales. El contenido fenólico total promedio obtenido para la temperatura de 50 grados Celsius, presentó una diferencia significativa respecto a las temperaturas de 40 y 60 grados Celsius.

El mayor contenido fenólico total promedio se obtuvo para la temperatura de 50 grados Celsius, mientras que el menor se obtuvo para la temperatura de 60 grados Celsius. Teóricamente, el grado en que disminuye la capacidad reductora de los polifenoles, ya sea por destrucción o alteración de su estructura, es directamente proporcional a la temperatura de secado. De acuerdo con lo reportado por Barbosa-Cánovas (1996), la velocidad de reacciones de pardeamiento, las cuales están relacionadas con la degradación de los polifenoles puede duplicarse o triplicarse por cada 10 grados Celsius de aumento en la temperatura.

En el contenido fenólico total, se obtuvo un pico en el secado a 50 grados Celsius, lo cual se puede deber a varios factores. La oxidación de los polifenoles a las temperaturas analizadas, puede ser total o parcial, de acuerdo con lo expuesto por Di Scala, et al. (2010), se ha demostrado en otras investigaciones que los polifenoles parcialmente oxidados, pueden tener mayor actividad antioxidante que otros polifenoles que no han sido oxidados. Además, la generación y acumulación de melanoidinas derivadas de las reacciones de Maillard (las cuales tienen cierto grado de actividad antioxidante), podría mejorar las propiedades antioxidantes del producto al exponerlo a altas temperaturas.

Una mayor exposición al oxígeno del aire ocasionada por largos tiempos de secado para temperaturas más bajas, puede ocasionar pérdidas significativas en el contenido fenólico de un material. De acuerdo con los resultados obtenidos, en la deshidratación a 40 grados Celsius se perdió 2,5 por ciento más de polifenoles en comparación con la deshidratación a 50 grados Celsius, la deshidratación a 50 grados Celsius duró en promedio 7 horas mientras que la deshidratación a 40 grados Celsius duró en promedio 10 horas.

La deshidratación de las tres corridas se hizo a diferentes horas en diferentes fechas, lo cual dio como consecuencia un alto grado de variación entre los resultados obtenidos para las diferentes corridas, en todas las temperaturas, como se observa en la tabla XV. Según lo reportado por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), la humedad relativa del ambiente más alta se registró en horario nocturno en el mes de junio, 92 por ciento y la más baja en horario diurno en el mes de marzo, 20 por ciento.

A pesar de que el aire alimentado al secador de bandejas pasa por un calentador que disminuye en cierto porcentaje su humedad relativa, el contenido de vapor de agua remanente va a depender de la cantidad inicial y disminuye la capacidad del aire para remover agua de la cáscara de manzana. La disminución en la capacidad de remover agua, provoca que la deshidratación tome más tiempo y como se mencionó anteriormente, una larga exposición al aire y al calor causa una mayor pérdida de polifenoles en el producto.

El análisis sensorial de las muestras se hizo únicamente con la primera corrida, para la cual se obtuvo los valores más altos de contenido fenólico total. Se elaboró una mezcla con 25 por ciento de especias (canela, clavo de olor y pimienta gorda) y 75 por ciento de cáscara de manzana, posteriormente se preparó una infusión con 3 gramos en 100 mililitros de agua a 80 grados Celsius. La bebida fue evaluada por 30 panelistas de tipo consumidor.

En la figura 10, se observa que se obtuvo un rango de 6,77 a 7,03 puntos en la escala hedónica establecida para el grado de aceptabilidad de una infusión preparada con la cáscara de manzana deshidratada a 40, 50 y 60 grados Celsius, donde la puntuación más baja corresponde a 60 grados Celsius

y la más alta a 40 grados Celsius. De acuerdo con la escala verbal, el grado de aceptabilidad es me gusta bastante para todas las temperaturas. La diferencia entre las propiedades sensoriales de las tres temperaturas fue casi imperceptible para los degustadores. En la figura 10 se observa también, que la disminución en el grado de aceptabilidad no es estadísticamente significativa.

Las características de sabor, olor y color en infusiones frutales que han sido procesadas a determinada temperatura de secado, se deben principalmente a la presencia o ausencia de compuestos volátiles, polifenoles, azúcares, ácidos y actividad enzimática, los cuales como se ha mencionado anteriormente, varían gradualmente con la temperatura; en este estudio se evidenció que para temperaturas de 40, 50, y 60 grados Celsius, estos cambios graduales no son perceptibles para el consumidor.

En la tabla XVI, se observan las correlaciones obtenidas para las variables evaluadas, contenido fenólico total y grado de aceptabilidad en función de la temperatura de secado. El contenido fenólico total no presenta una correlación considerable en relación a la temperatura de secado, a pesar de mostrar diferencias significativas entre las temperaturas de 50 y 60 grados Celsius, y 40 y 60 grados Celsius. El grado de aceptabilidad presenta una tendencia a disminuir con un coeficiente de correlación de 0,918, sin embargo las diferencias entre los valores medios obtenidos no son significativas.

CONCLUSIONES

1. Se deshidrató cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) a 40, 50 y 60 grados Celsius, en un secador de bandejas de flujo transversal de aire con convección forzada. Para el flujo de aire se estableció una velocidad constante de 4 metros por segundo, y se trabajó con humedad relativa no controlada.
2. Se obtuvo un contenido fenólico total de $10,595 \pm 0,671$ miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de peso fresco, para la cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*).
3. El mayor contenido fenólico total en cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) deshidratada a 40 grados Celsius, fue de $5,336 \pm 0,726$ miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de peso seco, correspondiente a la primera corrida.
4. Para la cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) deshidratada a 50 grados Celsius, se obtuvo un contenido fenólico total máximo de $5,984 \pm 0,517$ miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de peso seco, correspondiente a la primera corrida.
5. El mayor contenido fenólico total en cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) deshidratada a 60 grados Celsius, fue de $4,374 \pm 0,254$ miligramos equivalentes de ácido tánico por gramo de peso seco, correspondiente a la tercera corrida.

6. Al comparar el contenido fenólico total en cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) fresca, con muestras deshidratadas a 40, 50 y 60 grados Celsius, se demostró que el secado representó una pérdida significativa ($P < 0,05$) de compuestos fenólicos para todas las temperaturas.
7. El mayor contenido fenólico total promedio se obtuvo para la temperatura de 50 °C y fue de 5,832 mg equivalentes de ácido tánico por gramo de peso seco, presentando una diferencia estadísticamente significativa respecto a las demás temperaturas de secado.
8. No se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los valores obtenidos para el grado de aceptabilidad de una infusión frutal de cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) deshidratada a 40, 50 y 60 grados Celsius, evaluado con una escala hedónica verbal de nueve puntos.
9. El grado de aceptabilidad de una infusión frutal de cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) deshidratada a 40, 50 y 60 grados Celsius, evaluado con una escala hedónica verbal de nueve puntos, es equivalente a 7 o “me gusta bastante”.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar el efecto de otras variables del secado, como velocidad del aire, porcentaje de humedad en el medio y espesor de lecho, en el contenido fenólico total de la la cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) deshidratada.
2. Evaluar el efecto de la temperatura de secado en el contenido fenólico total y el grado de aceptabilidad de la cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) a temperaturas de secado diferentes a 40, 50 y 60 grados Celsius, utilizando intervalos mayores a 10 grados Celsius.
3. Determinar el efecto del uso de diferentes concentraciones de ácido málico como inhibidor de enzimas polifenol oxidasas durante el descongelamiento, en el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) deshidratada.
4. Determinar el efecto en el contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) deshidratada, de la adición de ácido málico en diferentes etapas del proceso, en concentraciones constantes.
5. Comparar el grado de aceptabilidad de diferentes formulaciones para la elaboración de una bebida de infusión a base de cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) deshidratada.

6. Analizar el contenido fenólico total de la cáscara de variedades de manzana cultivadas en Guatemala y variedades importadas, para comparar el grado de aprovechamiento de nutrientes que se le puede dar a éstas.

7. Estandarizar la cáscara de manzana Granny Smith (*Malus domestica*) estableciendo un rango de pH, contenido de sólidos, contenido de humedad y contenido fenólico total, aceptables para su aprovechamiento en la elaboración de infusiones.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANZALDUA-MORALES, Antonio. *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. España: Acribia, 2005. 198 p.
2. BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo; VEGA-MERCADO, Humberto. *Dehydration of foods*. Estados Unidos: Chapman & Hall. 1996. 330 p.
3. BOLAÑOS, Brenda. *Determinación de las propiedades antioxidantes de los jugos de fruta producidos industrialmente disponibles para su consumo en el área metropolitana de la Ciudad de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 2003. 56 p.
4. COLINA, Jhoana; GUERRA, Marisa; GUILARTE, Doralys; ALVARADO, Carlos. *Contenido de polifenoles y capacidad antioxidante de bebidas elaboradas con panela*. Venezuela: Universidad Simón Bolívar. 2012. 8 p.
5. DISCALA, Karina; et al. *Changes of quality characteristics of pepino fruit (*Solanum muricatum* Ait) during convective drying*. Argentina: International Journal of Food Science and Technology. 2011. 8 p.
6. DURÁN, Felipe. *La biblia de las recetas industriales: obra de fácil consulta para diferentes procesos industriales*. Colombia: Grupo Latino Editores. 2011. 1328 p.

7. HENRÍQUEZ, Carolina; et al. *Determination of antioxidant capacity, total phenolic content and mineral composition of different fruit tissue of five Apple cultivars grown in Chile*. Chile: Chilean Journal of Agricultural Research. 2010. 14 p.
8. HENRÍQUEZ, Carolina; et al. *Development of an ingredient containing apple peel, as a source of polyphenols and dietary fiber*. Estados Unidos: Journal of Food Science. 2010. 6 p.
9. HØYEM, Tore; KVÅLE, Oskar. *Physical, chemical and biological changes in food caused by thermal processing*. Inglaterra: Applied Science Publishers Limited. 1977. 398 p.
10. MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*, Editorial McGraw Hill, 7a ed. México, 2007. 1199 p.
11. SHAHIDI, Fereidoon; NACZH, Marian. *Phenolics in food and nutraceuticals*. Estados Unidos: CRC. 2004. 558 p.
12. VARNAM, Alan. *Beverages: technology, chemistry and microbiology*, Editorial Aspen. Estados Unidos, 1994. 464 p.
13. WOLFE, K.L., LIU, R.H. *Apple peels as a value-added food ingredient*. Estados Unidos: Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003. 8 p.

14. WOLFE K., WU X., y LIU R.H. *Antioxidant activity of apple peels*.
Estados Unidos: Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003.
6 p.

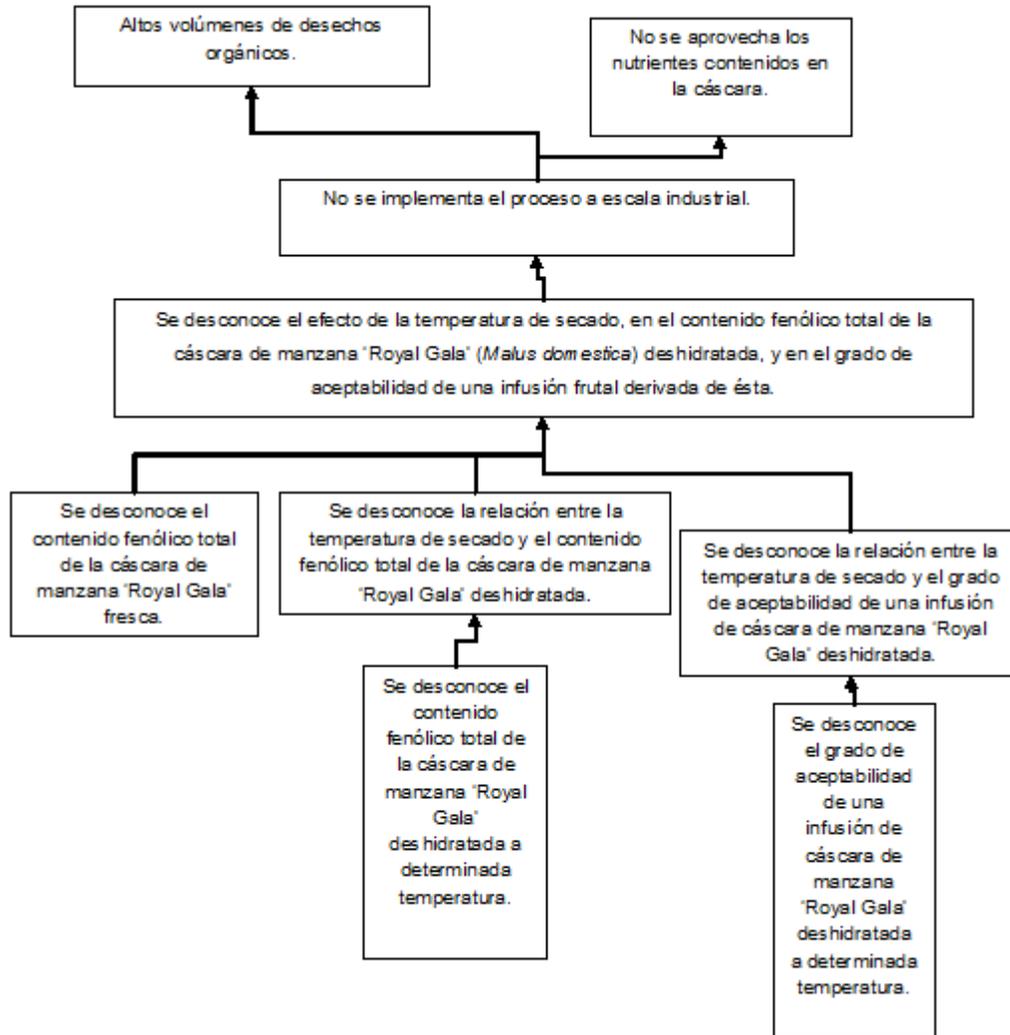
APÉNDICES

Tabla XVII. **Tabla de requisitos académicos**

Área	Curso
Química	Química 3 y 4, Análisis cuantitativo, Bioquímica.
Operaciones unitarias	Balance de masa y energía (IQ-1), Transferencia de calor (IQ-3), Transferencia de masa en unidades continuas (IQ-5).
Especialización	Tecnología de los alimentos, Ingeniería económica 3.
Fisicoquímica	Fisicoquímica 2, Laboratorio de fisicoquímica 2.
Ciencias básicas y complementarias	Estadística 2.

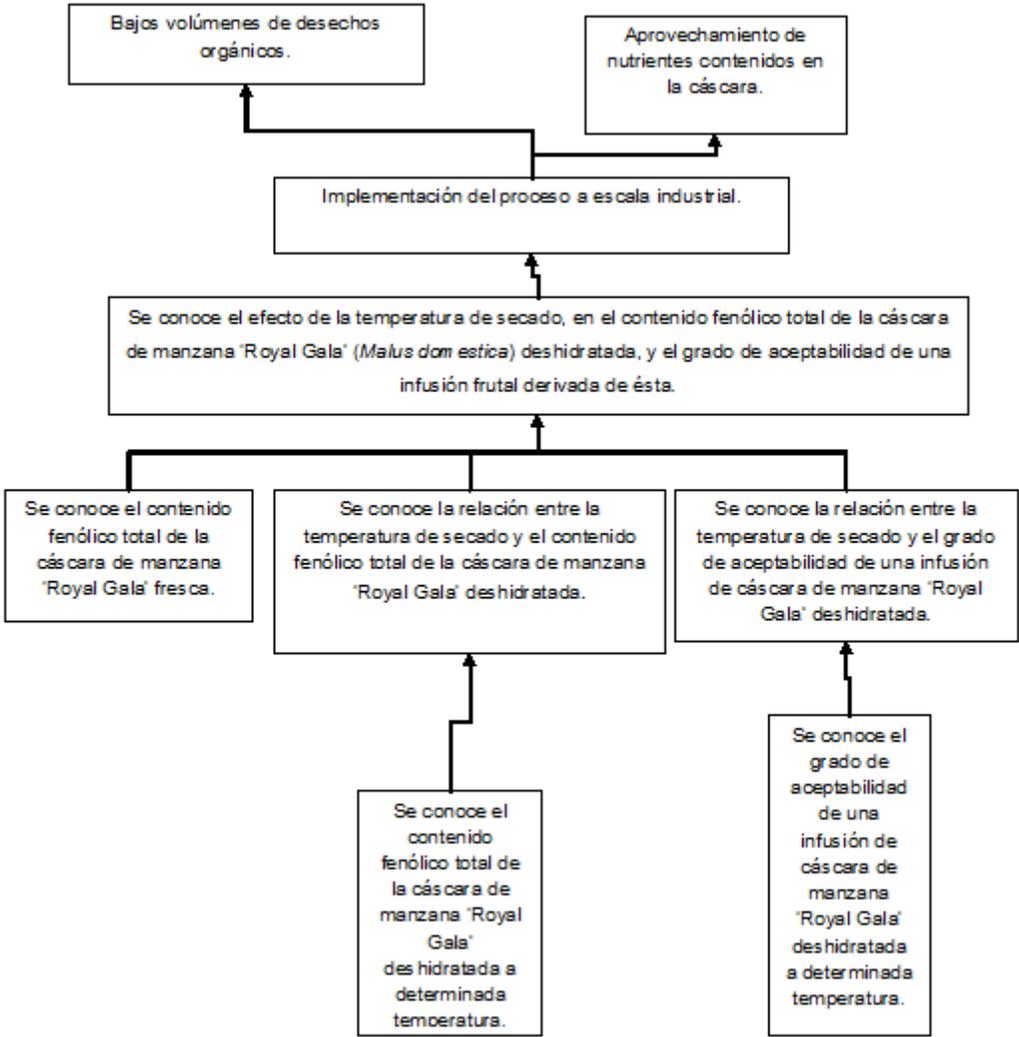
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Árbol de objetivos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Datos calculados**

Tabla XVIII. **Datos calculados para la determinación del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith fresca**

Corrida	Repetición	Volumen de muestra (L)	Concentración fenólica de solución (mg/L)	Volumen de solución (L)	Relación de extracción (g/L)	Equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara fresca (mg/g)
1	1	0,0015	7,380	0,025	11,111	11,070
	2	0,0015	6,747	0,025	11,111	10,121

Fuente: datos calculados utilizando ecuación 4.

Tabla XIX. **Datos calculados para la determinación del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C**

Corrida	Repetición	Volumen de muestra (L)	Concentración fenólica de solución (mg/L)	Volumen de la solución (L)	Relación de extracción (g/L)	Equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara seca (mg/g)
1	1	0,0015	3,900	0,025	11,111	5,849
	2	0,0015	3,216	0,025	11,111	4,823
2	1	0,0015	2,677	0,025	11,111	4,015
	2	0,0015	2,822	0,025	11,111	4,233
3	1	0,0015	2,950	0,025	11,111	4,426
	2	0,0015	3,027	0,025	11,111	4,541

Fuente: datos calculados utilizando ecuación 4.

Tabla XX. **Datos calculados para la determinación del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 50 °C**

Corrida	Repetición	Volumen de muestra (L)	Concentración fenólica de solución (mg/L)	Volumen de la solución (L)	Relación de extracción (g/L)	Equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara seca
1	1	0,0015	4,233	0,025	11,111	6,350
	2	0,0015	3,746	0,025	11,111	5,619
2	1	0,0015	3,754	0,025	11,111	5,631
	2	0,0015	3,806	0,025	11,111	5,708
3	1	0,0015	3,985	0,025	11,111	5,978
	2	0,0015	3,806	0,025	11,111	5,708

Fuente: datos calculados utilizando ecuación 4.

Tabla XXI. **Datos calculados para la determinación del contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 60 °C**

Corrida	Repetición	Volumen de muestra (L)	Concentración fenólica de solución (mg/L)	Volumen de la solución (L)	Relación de extracción (g/L)	Equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara seca (mg/g)
1	1	0,0015	2,959	0,025	11,111	4,439
	2	0,0015	2,506	0,025	11,111	3,759
2	1	0,0015	2,831	0,025	11,111	4,246
	2	0,0015	2,617	0,025	11,111	3,926
3	1	0,0015	2,797	0,025	11,111	4,195
	2	0,0015	3,036	0,025	11,111	4,554

Fuente: datos calculados utilizando ecuación 4.

Tabla XXII. **Datos calculados para el valor promedio de contenido fenólico total para la cáscara de manzana Granny Smith fresca**

Corrida	Repetición	Equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara fresca (mg/g)
1	1	11,070
	2	10,121
Valor promedio		10,595

Fuente: datos calculados con ecuación 6.

Tabla XXIII. **Datos calculados para el valor promedio de contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 40 °C**

Corrida	Repetición	Equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara seca (mg/g)
1	1	5,849
	2	4,823
2	1	4,015
	2	4,233
3	1	4,426
	2	4,541
Valor promedio		4,648

Fuente: datos calculados con ecuación 6.

Tabla XXIV. **Datos calculados para el valor promedio de contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 50 °C**

Corrida	Repetición	Equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara seca (mg/g)
1	1	6,350
	2	5,619
2	1	5,631
	2	5,708
3	1	5,978
	2	5,708
Valor promedio		5,832

Fuente: datos calculados con ecuación 6.

Tabla XXV. **Datos calculados para el valor promedio de contenido fenólico total de la cáscara de manzana Granny Smith deshidratada a 60 °C**

Corrida	Repetición	Equivalentes de ácido tánico por gramo de cáscara seca (mg/g)
1	1	4,439
	2	3,759
2	1	4,246
	2	3,926
3	1	4,195
	2	4,554
Valor promedio		4,186

Fuente: datos calculados con ecuación 6.

Tabla XXVI. **Datos calculados para el valor promedio de grado de aceptabilidad de infusión de cáscara de manzana deshidratada a 40 °C, 50 °C y 60 °C**

Descripción del cálculo	Valor de escala hedónica		
	40 °C	50 °C	60 °C
Promedio	7.03	7.00	6.77
Desviación estándar	1.33	1.14	1.25

Fuente: datos calculados con ecuación 6.

Tabla XXVII. **Datos calculados con la prueba de Tuckey para los valores de Contenido Fenólico Total**

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.86598						
Error: 0.1097 gl: 8						
Temperatura de secado	Medias	n	E.E.			
0	47.3	3	0.19	A		
50	5.83	3	0.19		B	
40	4.65	3	0.19			C
60	4.19	3	0.19			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: elaboración propia.

1. Datos calculados con la prueba de Tuckey para los valores de Grado de Aceptabilidad

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.76503				
Error: 1.5441 gl: 87				
Columna1	Medias	n	E.E.	
40	7.03	30	0.23	A
50	7	30	0.23	A
60	6.77	30	0.23	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Tabla XXVIII. Boleta de evaluación sensorial para infusión frutal en escala hedónica verbal de nueve puntos

Producto: _____

Marque con una X en el lugar que indique su opinión acerca de cada muestra

Muestra	Me gusta muchísimo	Me gusta mucho	Me gusta bastante	Me gusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta ligeramente	Me disgusta bastante	Me disgusta mucho	Me disgusta muchísimo
A									
B									
C									

¡MUCHAS GRACIAS!

Fuente: elaboración propia.

