



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

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CALENTAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA MIEL DE
ABEJA PROVENIENTE DE APIARIOS REGIONALES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA,
POR MEDIO DEL VALOR DEL ÍNDICE DE DIASTASA E HIDROXIMETILFURFURAL PARA
DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA EN EL PROCESO DE ENVASADO**

Karol Lissette Esquit Echeverría
Asesorado por el Ing. Juan Carlos González Soto

Guatemala, mayo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CALENTAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA MIEL DE ABEJA PROVENIENTE DE APIARIOS REGIONALES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL VALOR DEL ÍNDICE DE DIASTASA E HIDROXIMETILFURFURAL PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA EN EL PROCESO DE ENVASADO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KAROL LISSETTE ESQUIT ECHEVERRÍA
ASESORADO POR EL ING. JUAN CARLOS GONZÁLEZ SOTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz Gonzales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADORA	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
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 DEL CALENTAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA MIEL DE ABEJA PROVENIENTE DE APIARIOS REGIONALES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL VALOR DEL ÍNDICE DE DIASTASA E HIDROXIMETILFURFURAL PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA EN EL PROCESO DE ENVASADO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha noviembre de 2020.

Karol Lissette Esquit Echeverría

Guatemala 16 de febrero del 2023

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Williams Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final en la modalidad de EPS de 6 meses con seminario de investigación, del trabajo de graduación titulado: EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CALENTAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA MIEL DE ABEJA PROVENIENTE DE APIARIOS REGIONALES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL VALOR DEL ÍNDICE DE DIASTASA E HIDROXIMETILFURFURAL PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA EN EL PROCESO DE ENVASADO, elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Karol Lissette Esquit Echeverría, quien se identifica con el registro académico 2011-14246 y con el CUI 2163 25196 04 01.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Juan Carlos Gonzalez Soto
Ingeniero Químico
Colegiado No. 1785

Juan Carlos González Soto
ASESOR
Ingeniero Químico
Colegiado activo no. 1,785

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 01 de marzo de 2023.
REF.EPS.DOC.119.03.2023.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Karol Lissette Esquit Echeverría** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **201114246**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CALENTAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA MIEL DE ABEJA PROVENIENTE DE APIARIOS REGIONALES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL VALOR DEL ÍNDICE DE DIASTASA E HIDROXIMETILFURFURAL PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA EN EL PROCESO DE ENVASADO”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Sergio Alejandro Recinos
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
SAR/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 01 de marzo de 2023.
REF.EPS.D.77.03.2023.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez Mejía.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CALENTAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA MIEL DE ABEJA PROVENIENTE DE APIARIOS REGIONALES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL VALOR DEL ÍNDICE DE DIASTASA E HIDROXIMETILFURFURAL PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA EN EL PROCESO DE ENVASADO"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria Karol Lissette Esquit Echeverría, quien fue debidamente asesorada por el Ing. Juan Carlos González Soto y supervisada por el Ingeniero Sergio Alejandro Recinos.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS

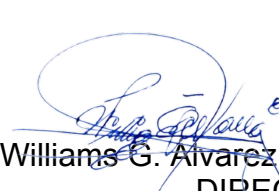
/ra



LNG.DIRECTOR.116.EIQ.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CALENTAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA MIEL DE ABEJA PROVENIENTE DE APIARIOS REGIONALES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL VALOR DEL ÍNDICE DE DIASTASA E HIDROXIMETILFURFURAL PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA EN EL PROCESO DE ENVASADO**, presentado por: **Karol Lissette Esquit Echeverría**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Williams G. Alvarez Mejía. Mg.I.Q., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, mayo de 2023.





Guatemala, 26 de abril de 2023.
Ref. EIQ.TG-IF.011.2023.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **044-2019**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Karol Lisette Esquit Echeverría**.
Identificado con número de carné: **2163251960401**.
Identificado con registro académico: **201114246**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO (Informe Final EPS (6 meses), Seminario de Investigación)**.

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 DEL CALENTAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA MIEL DE ABEJA PROVENIENTE DE APIARIOS REGIONALES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL VALOR DEL ÍNDICE DE DIASTASA E HIDROXIMETILFURFURAL PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA EN EL PROCESO DE ENVASADO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Juan Carlos González Soto, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido 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"



Víctor Manuel Monzón Valdez
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

Escaneado con CamScanner

C.c.: archivo

Facultad de Ingeniería

Decanato
24189101-
24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.471.2023

La Decana 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 DEL CALENTAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA MIEL DE ABEJA PROVENIENTE DE APIARIOS REGIONALES DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA, POR MEDIO DEL VALOR DEL ÍNDICE DE DIASTASA E HIDROXIMETILFURFURAL PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA EN EL PROCESO DE ENVASADO**, presentado por: **Karol Lissette Esquit Echeverría**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, mayo de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por bendecirme y guiarme en cada momento de mi vida.
Mi madre	Aura Echeverría, por ser ejemplo de vida y apoyarme en cada paso de mi formación personal.
Mi padre	Ernesto Esquit, por ser una inspiración diaria e inculcarme el sacrificio, esfuerzo y perseverancia por perseguir todas mis metas.
Mis hermanos	Vivian y Nesthor Esquit, por ser mis fieles compañeros de vida, y creer continuamente en mí.
Mi familia	A todos aquellos que me han acompañado en cada uno de mis pasos, compartiendo conmigo experiencias, alegrías y amor.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios y los conocimientos adquiridos en ella.

Facultad de Ingeniería

Por las enseñanzas a través de mis catedráticos.

Mis amigos

Jenny Ojer, David García, Beatriz Landaverde, Mirna Alvaréz, Vanessa Ovando, Sara Solares, Danyssa Dominguez, Ana Lu García, Natali Milián, por todos los momentos compartidos y su incondicional apoyo.

Mis asesores

Ing. Sergio Recinos e Ing. Juan Carlos González, por su apoyo en la ejecución de mi proyecto y todo su proceso.

Mi revisor

Ing. Víctor Monzón, por compartir su conocimiento, tiempo y paciencia en este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCOTEORICO.....	5
2.1. Miel.....	5
2.2. Beneficios y propiedades de la miel	6
2.3. Un recurso medicinal y alimenticio	6
2.4. Propiedades fisicoquímicas de la miel.....	7
2.5. Miel como alimento.....	11
2.6. Miel como producto de valor comercial	11
2.7. La apicultura como actividad económica	12
2.8. Comportamiento microbiológico de la miel	12
2.9. Microorganismos contaminantes	13
2.10. Actividad enzimática de la miel.....	14
2.11. Efecto del calentamiento en la miel	14
2.12. Métodos de análisis para determinar la calidad de la miel	15
2.13. Índice de diastasa o actividad diastasa	16
2.14. Proceso de envasado	18

3.	DISEÑO METODOLOGICO.....	21
3.1.	Variables	21
3.1.1.	Variables independientes	21
3.1.2.	Variables dependientes	21
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	22
3.3.	Recursos humanos disponibles	22
3.4.	Recursos, materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)	22
3.4.1.	Equipo y cristalería.....	23
3.4.2.	Reactivos.....	23
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	24
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	24
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	28
3.8.	Análisis estadístico.....	34
3.9.	Plan de análisis de resultados.....	35
3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables.....	35
4.	RESULTADOS.....	41
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	55
	CONCLUSIONES.....	59
	RECOMENDACIONES	61
	REFERENCIAS	63
	APENDICES.....	67
	ANEXO.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de flujo envasado de la miel	20
2.	Diagrama de procedimiento para la determinación índice de diastasa ..	36
3.	Diagrama de procedimiento para la determinación del HMF.....	38
4.	Determinación del índice de diastasa muestras vírgenes	41
5.	Determinación del hidroximetilfurfural muestras vírgenes.....	41
6.	Determinación del conteo bacteriológico muestras vírgenes	42
7.	Resultados obtenidos del índice de diastasa T=50 °C	42
8.	Resultados obtenidos del hidroximetilfurfural T=50 °C.....	43
9.	Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural para encontrar temperatura óptima A2.....	43
10.	Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural B2...	44
11.	Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural C2...	45
12.	Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural D2...	46
13.	Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural E2.....	47
14.	Desviación estándar hidroximetilfurfural.....	48
15.	Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural A3...	49
16.	Resultado obtenido del índice de diastasa e hidroximetilfurfural B3	50
17.	Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural C3...	51
18.	Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural D3.....	52
19.	Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural E3.....	53

20.	Desviación estándar del hidroximetilfurfural.....	54
-----	---	----

TABLAS

I.	Valores de Índice miel virgen.....	29
II.	Valores de Índice simulando el proceso de calentamiento	29
III.	Tiempo en minutos en cumplir con valor de absorbancia muestras vírgenes.....	30
IV.	Tiempo en minutos en cumplir con valor de absorbancia muestras simulando proceso calentamiento	31
V.	Valores de absorbancia muestras vírgenes analizadas.....	31
VI.	Valores de la absorbancia en muestras vírgenes para determinar el valor de hidroximetilfurfural.....	32
VII.	Valores para determinar temperatura óptima	33
VIII.	Valores de las muestras simulando proceso de calentamiento para determinar temperatura óptima.....	33
IX.	Determinación de la carga bacteriana	34
X.	Determinación de la carga bacteriana en muestras calentadas	34

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grado Celsius
g	Gramos
Kg	Kilogramo
mg/kg	Miligramos sobre kilogramos
min	Minutos
Nm	Nanómetros

GLOSARIO

Absorbancia	Se relaciona con la intensidad que sale o se transmite con la intensidad que ingresa o incidente. En definitiva, cuantifica el fenómeno que ocurre con la radiación lumínica y las sustancias. Al incidir la luz sobre la muestra, una parte de la radiación es absorbida por la sustancia.
Almacenamiento	Se asocia a depositar ciertos elementos en un determinado espacio.
Análisis Físicoquímico	Consisten en la medición de diversas propiedades físicas de los sistemas, en la mayoría de los casos las temperaturas de transición de fase y sus propiedades.
Calentamiento	Proceso en el cual el calor pasa de fuera del recipiente hacia el interior de forma que la temperatura más elevada se encuentra en la zona cercana a las paredes (más cercana a la fuente de calor) y se va difundiendo hacia la disolución y los reactivos.
Calidad	Superioridad o excelencia de algo o de alguien.
Carga Bacteriana	Número y tipo de microorganismos que contaminan un objeto.
Diastasa	La enzima propia de la miel "Diastasa" (científicamente se trata de una α -Amylase) es un marcador para la autenticidad de la miel y representa un importante parámetro de calidad.

Gothe	Escala de medición del índice de Diastasa, que son aprobados por las diferentes legislaciones.
Hidroximetilfurfural	El hidroximetilfurfural (HMF), es un indicador de la frescura de la miel al igual que las actividades enzimáticas de la invertasa y la diastasa. El HMF es un compuesto (aldehído), que se forma por deshidratación de los azúcares, especialmente de la fructosa.
Inocuidad	Conjunto de condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de alimentos para asegurar que una vez ingeridos, no representen un riesgo para la salud.
Optima/o	Que es extraordinariamente bueno o el mejor, especialmente en lo que se refiere a las condiciones o características de una cosa, por lo cual resulta muy difícil o imposible encontrar algo más adecuad.
Proceso	Una función de proceso es una magnitud física que describe la transición de un sistema entre dos estados.
Reactivo	Sustancia que, por su capacidad de provocar determinadas reacciones, sirve en los ensayos y análisis químicos para revelar la presencia o medir la cantidad de otra sustancia.
Temperatura	Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera.
Unidades formadoras de colonias	Es una unidad de medida que se emplea para la cuantificación de microorganismos, es decir, para contabilizar el número de bacterias o células fúngicas (levaduras), viables en una muestra líquida o sólida.

RESUMEN

Se realizó el análisis del efecto del calentamiento en la calidad de la miel de abeja y determinación de la temperatura óptima, para el proceso de envasado de esta a nivel laboratorio. Se utilizó como base una temperatura de 50-55 °C en un tiempo controlado para la simulación del proceso de calentamiento que la miel de abeja experimenta en la industria.

Se utilizaron dos métodos para medir la calidad y la frescura de la miel de abeja, siendo estos: la determinación de índice de diastasa (ID), y el hidroximetilfurfural (HMF). También se realizaron análisis microbiológicos (Conteo Bacteriano) a la miel, para poder determinar si la temperatura óptima era capaz de eliminar también los microorganismos formados.

Primero se analizaron las muestras de miel de abeja vírgenes, para determinar los valores de índice de diastasa, hidroximetilfurfural y el conteo bacteriano. Con los resultados obtenidos se determinó que el proceso de calentamiento sí provocaba cambios en los parámetros de la calidad de la miel de abeja. Luego se procedió a simular el proceso de calentamiento de la miel de abeja, calentando las muestras de miel a una temperatura de 50 °C con un tiempo cronometrado, esta temperatura es la que comúnmente se utiliza en el proceso para envasado de la miel, debido al que al calentarla eliminan bacterias, mohos y es más fácil manipular el envasado.

Se procedió a determinar la temperatura óptima al calentar las muestras de miel a dos temperaturas diferentes con respecto a la que se usa comúnmente +/- 5 °C específicamente, determinando en cada una de ellas el índice de diastasa

y el hidroximetilfurfural. Luego al determinarse la temperatura óptima se volvió a realizar un conteo bacteriano a las muestras calentadas a esta temperatura para saber si era capaz de eliminar las bacterias que se habían contado en las muestras de miel virgen y cumplir con los parámetros de calidad medidos según la normativa, así también eliminar las colonias de bacterias.

El proyecto se desarrolló en el Laboratorio de Desarrollo de Soluciones Globales (DSG), ubicada en zona 7 Guatemala.

OBJETIVOS

General

Determinar el efecto que causa el calentamiento en la calidad de la miel, así como la temperatura óptima para realizar un buen proceso de envasado que afecte lo menos posible la calidad de esta.

Específicos

1. Evaluar el proceso de envasado de la miel de abeja.
2. Establecer por método fisicoquímico el valor del índice de diastasa (en escala de Gothe) en la miel de abeja.
3. Decidir por método fisicoquímico el valor de HMF (hidroximetilfurfural) en la miel de abeja.
4. Diagnosticar la calidad de la miel después del proceso de calentamiento, comparando los resultados de HMF e índice de diastasa con la norma internacionalmente aceptada según el Codex CODEX STAN 12-1981.
5. Definir el efecto que causa el calentamiento en la calidad de la miel de abeja procesada, comparando los valores de HMF e índice de diastasa antes y después del proceso de calentamiento.

6. Obtener la temperatura óptima para el proceso de calentamiento adecuado en la miel de abeja, mediante la determinación del punto óptimo, según gráfica de datos obtenidos.

7. Demostrar la eficacia del proceso de calentamiento, para reducir o eliminar la contaminación microbiológica, mediante la comparación de la carga bacteriológica de la miel de abeja antes y después del proceso de calentamiento.

HIPÓTESIS

Hipótesis de investigación nula (H₀)

H₀₁: no se presentan cambios en la calidad de la miel de abeja en la manipulación durante su proceso. ($ID \leq 8$ y $HMF \geq 40\text{mg/kg}$).

H₀₂: no existe una temperatura óptima para el adecuado proceso de calentamiento de la miel de abeja a las temperaturas de estudio. ($45\text{ °C} \leq T_{\text{óptima}} \leq 55\text{ °C}$).

H₀₃: no existe una temperatura óptima para el adecuado proceso de calentamiento de la miel de abeja que cumpla con los parámetros microbiológicos.

Hipótesis de investigación alternativa (H_a)

H_{a1}: se presentan cambios en la calidad de la miel de abeja en la manipulación durante su proceso. ($ID \geq 8$ y $HMF \leq 40\text{mg/kg}$).

H_{a2}: existe una temperatura óptima para el adecuado proceso de calentamiento de la miel de abeja a las temperaturas de estudio. ($45\text{ °C} \leq T_{\text{óptima}} \leq 55\text{ °C}$).

H_{a3}: existe una temperatura óptima para el adecuado proceso de calentamiento de la miel de abeja que cumpla con los parámetros microbiológicos.

INTRODUCCIÓN

La miel es un alimento producido por las abejas de la especie denominada *Apis mellifera* o abejas melíferas, estos insectos son criadas por el hombre en colmenas cuidando las dimensiones y condiciones adecuadas para favorecer que estas fabriquen la mayor cantidad posible de miel y de la mejor calidad. La apicultura en Guatemala se ha convertido en una actividad económica importante, Guatemala es uno de los principales productores y exportadores de miel en Centroamérica. Según el Comité Apícola de la Asociación Guatemalteca de Exportadores (Agexport), la calidad de la miel de Guatemala la hace apetecible a nivel internacional. Cada año, el país exporta a Europa principalmente 140 contenedores de miel.

El objetivo principal de los procesos relacionados con la miel es estabilizarla, esto significa que el producto final esté libre de fermentación y que se conserve en el estado físico deseado el mayor tiempo posible. Cada industria somete a la miel que comercializa a una serie de procesos, que casi siempre incluye temperaturas elevadas para poder manejarla de una forma rápida y a bajos costes. Casi todos los tratamientos industriales persiguen mantener la miel en estado líquido el mayor tiempo posible, y lograr un producto libre de microorganismos dañinos para el consumidor.

El problema de utilizar procesos térmicos para mantener el estado deseado por la industria comercializadora es que degrada rápidamente las vitaminas, enzimas, levaduras y otros componentes naturales que contenga la miel, si se hace un mal proceso de calentamiento. Uno de los procesos térmicos utilizados en la industria apícola, es la pasteurización. Los principales análisis

utilizados para medir el efecto del calentamiento en la calidad de la miel son el índice de diastasa y el hidroximetilfurfural (HMF).

El presente trabajo de investigación pretende determinar cuál es el efecto del calentamiento que sufre la miel, previa a ser envasada, así como la temperatura óptima para afectar lo menos posible la calidad de ésta.

Los métodos utilizados para determinar la calidad de la miel son el índice de diastasa (la actividad diastásica) y la determinación de hidroximetilfurfural (HMF). Estos métodos determinan la calidad de la miel por medio de la escala de Gothe para el índice de diastasa y en mg/kg para el HMF, dependiendo del valor de estos se determinará si una miel sufrió algún tipo de estrés durante el proceso de calentamiento y si los datos obtenidos entran en el rango de aceptación por la norma internacional CODEX STAN 12-1981.

Así también se determinará el efecto en la calidad de la miel y por medio de pruebas a nivel laboratorio, se propone una temperatura óptima para realizar un proceso adecuado de calentamiento en la miel y hacer el menor daño a las propiedades que requiere el producto para ser de buena calidad.

1. ANTECEDENTES

Estudios realizados anteriormente por varias universidades nacionales e internacionales, han mostrado que del proceso que se realice a las mieles crudas para su comercialización, depende mucho la calidad con que se identifique cada una de las mismas. Uno de los principales factores que afectan la calidad de la miel es la temperatura a la cual se somete durante su proceso de envasado y almacenado. Según tesis realizada por estudiante de la universidad autónoma Agraria Antoni Narro, México, se determinó el valor del HMF en dos muestras de miel que no ha sido procesada, pero si almacenada, observando que una de las mieles obtuvo un valor bajo de HMF y esto fue en la miel que había tenido un tiempo de conservación prolongado, mientras que en una miel fresca el valor de HMF fue igual a cero (Caamal, 2009).

A medida que se han aplicado nuevas técnicas a los productos alimentarios, se han desarrollado diversos métodos de análisis con el fin de preservar la calidad del producto manufacturado puesto que las propiedades de algunos productos azucarados como el caso de la miel de abeja, son muy sensibles al calor y pueden deteriorarse durante el almacenamiento, viéndose afectadas sus características organolépticas, propiedades terapéuticas, antisépticas, y contenido de enzimas y vitaminas (Aparicio, 2004).

Se hace mención asimismo en la revista Científica Agropecuaria de Argentina, que publica un estudio realizado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias donde se observa el incremento del HMF en un porcentaje de muestras analizadas para el estudio, haciendo mención de algún tratamiento efectuado por el apicultor para provocar el incremento, como la mala práctica al

realizar el proceso térmico, mal almacenaje de la miel recolectada, producto contaminado por el hombre, entre otras (Rodríguez, et al., 2015). Se ha estudiado que la pasteurización es el proceso que se realiza para retrasar el fenómeno de la cristalización y fermentación posterior de la miel durante la comercialización, para que el producto proporcione la mejor impresión al consumidor durante más tiempo posible.

Este proceso también reduce la carga de microorganismos, especialmente los mohos y las levaduras, por efecto de la temperatura. La pasteurización puede modificar las características originales de la miel si no se realiza de la forma correcta, puede disminuir la riqueza aromática y producir la pérdida de sabores, incluso producir una caramelización parcial de los azúcares presentes en la miel, cambios en la tonalidad original de la miel oscureciéndola, aumentar el contenido en hidroximetilfurfural y destrucción de enzimas (con lo cual se reduce la actividad diastásica). Sin embargo, si el proceso térmico es realizado de forma correcta y la materia prima es buena, se puede obtener como producto final miel líquida que conserven gran parte de las características intrínsecas de la miel.

En Guatemala no se encontró estudios relacionados con el efecto del calentamiento en la calidad de la miel, ni estudios que permitan determinar cuál es la temperatura óptima a utilizar, afectando lo menos posible la calidad de ésta.

Los principales métodos fisicoquímicos utilizados para clasificar la calidad de la miel son el índice de diastasa o actividad diastásica, y el hidroximetilfurfural. Según la normativa CODEX para la miel CODEX STAN 12-1981, el índice de diastasa debe estar arriba de 8 en escala de Gothe, y el hidroximetilfurfural no debe ser mayor a 40 mg/kg, determinada después de elaborada y mezclada. Se ha determinado que un valor por debajo de 8 determinados de índice de diastasa en las mieles demuestra el estrés sufrido en un mal proceso térmico, mal

almacenamiento, mala manipulación o contaminantes presentes en el producto. Mientras el hidroximetilfurfural es un aldehído que se forma por la descomposición de la fructosa durante el proceso de calentamiento de la miel.

2. MARCOTEORICO

2.1. Miel

La miel es la sustancia natural dulce producida por la abeja *Apis mellifera* o por diferentes subespecies, a partir del néctar de las flores y de otras secreciones extra florales que las abejas liban, transportan, transforman, combinan con otras sustancias, deshidratan, concentran y almacenan en el panal. Constituye uno de los alimentos más primitivos que el hombre aprovechó para nutrirse. Su composición es compleja y los carbohidratos representan la mayor proporción, dentro de los que destacan la fructosa y glucosa, pero contiene una gran variedad de sustancias menores dentro de los que destacan las enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, antioxidantes, vitaminas y minerales (Huidobro y Simal, 2014).

La composición de la miel depende de diversos factores como la contribución de la planta, suelo, clima y condiciones ambientales, principalmente. También se ha asociado a la miel otras funciones además de la alimenticia, sobre todo algunas relacionadas para el tratamiento de afecciones de la salud. Aunque la apicultura es una actividad muy antigua, en la actualidad representa una actividad económica importante en muchos países que permite generar una importante cantidad de empleos, siendo en México la tercera fuente de divisas del subsector ganadero.

En primer lugar, miel es aquella que no ha sido calentada por encima de 43° ni sometida a ningún proceso, a diferencia de la industrial, la cual se pasteuriza. Por lo tanto, la pasteurización evita que cristalice, por consiguiente,

también reduce drásticamente la calidad, esto porque en el proceso se destruyen la mayoría de enzimas, antioxidantes y otras propiedades beneficiosas como su acción antibiótica (Manzano, 2022).

2.2. Beneficios y propiedades de la miel

Los minerales más frecuentes son calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, zinc, fósforo y potasio. Están presentes también alrededor de la mitad de los aminoácidos existentes, ácidos orgánicos (ácido acético, ácido cítrico, entre otros) y vitaminas del complejo B, vitamina C, D y E. Posee también una variedad considerable de antioxidantes (flavonoides y fenólicos), y otros descubrimientos sobre sus propiedades.

El color varía entre los diferentes tipos. El color está determinado, principalmente, por la química de la miel y lo determina la fuente floral. Sin embargo, no se han podido identificar exactamente cuáles son los agentes responsables de impartir el color al néctar y posteriormente a la miel. No obstante, se sabe que, aparte de los minerales que se obtienen del suelo, los pigmentos de origen vegetal pueden contribuir en su color (Manzano, 2022).

2.3. Un recurso medicinal y alimenticio

El desarrollo de las sociedades humanas se ha sustentado en el aprovechamiento de los recursos naturales como en el caso de la miel, la cual se produjo mucho antes de la aparición del hombre en la tierra. Aunque la historia de la apicultura tiene sus raíces en los primeros asentamientos humanos, existen evidencias arqueológicas de que la miel bien pudo utilizarse como alimento desde el periodo Mesolítico, esto es 7000 años a.C. También se sabe que la primera referencia escrita para la miel es una tablilla Sumeriana, fechada entre

los años 2100-2000 a.C.; dicha tablilla también menciona el uso de la miel como droga y como un ungüento. Por ello se afirma que la miel ha sido usada con propósitos médicos y nutricionales.

Se estima que la miel es la medicina más antigua conocida y que en muchas razas fue prescrita por médicos para una variedad de enfermedades. Hoy se sabe que el poder antibacteriano de la miel se debe principalmente a las inhibinas. Estas inhibinas consisten en peróxido de hidrógeno, flavonoides y ácidos fenólicos, además de otras sustancias sin identificar, aunque otros investigadores atribuyen la capacidad antibacteriana de miel a la combinación de propiedades tales como su alta osmolaridad, bajo pH, presencia de sustancias volátiles y bajo valor de actividad de agua.

También se ha demostrado que la miel sirve como una fuente natural de antioxidantes, que son efectivos para reducir el riesgo de enfermedades del corazón, sistema inmune, cataratas y diferentes procesos inflamatorios.

2.4. Propiedades fisicoquímicas de la miel

La miel varía en su composición dependiendo de la fuente del néctar, las prácticas de apicultura, el clima y las condiciones ambientales.

- Los carbohidratos: constituyen el principal componente de la miel. Dentro de los carbohidratos los principales azúcares son los monosacáridos fructosa y glucosa. Estos azúcares simples representan el 85 % de sus sólidos, puesto que la miel es esencialmente una solución altamente concentrada de azúcares en agua. Los otros sólidos de la miel incluyen a los menos otros 25 azúcares complejos, pero algunos de ellos están

presentes en niveles muy bajos y todos están formados por la unión de la fructosa y glucosa en diferentes combinaciones (Huidobro y Simal, 2014).

- El agua: el contenido de humedad es una de las características más importantes de la miel y está en función de ciertos factores tales como los ambientales y del contenido de humedad del néctar. La miel madura tiene normalmente un contenido de humedad por debajo del 18.5 % y cuando se excede de este nivel, es susceptible a fermentar, particularmente cuando la cantidad de levaduras osmofílicas es suficientemente alta. El contenido de agua en la miel influye en su viscosidad, peso específico y color, condicionando así la conservación y cualidades organolépticas de este producto.
- Las enzimas: son añadidas principalmente por las abejas, aunque algunas pocas proceden de las plantas. Las abejas añaden enzimas a fin de lograr el proceso de maduración del néctar a miel y éstas son en gran parte las responsables de la complejidad composicional de la miel. El proceso involucrado en la conversión de los tres azúcares básicos del néctar a por lo menos 25 azúcares adicionales de gran complejidad es difícil de entender. La enzima más importante de la miel es la glucosidasa, siendo la responsable de muchos de los cambios que ocurren en la miel; también se conoce como invertasa o sucrasa y convierte el disacárido sacarosa de la miel en sus constituyentes monosacáridos fructosa y glucosa.

Otras enzimas presentes en la miel son la glucosa oxidasa, responsable en gran parte de la propiedad antibacteriana de la miel; la catalasa, responsable de convertir el peróxido de hidrógeno a oxígeno y agua; la ácido fosfatasa, que degrada el almidón; la diastasa que se usa como indicador de aplicación de calor a la miel.

- **Proteínas y aminoácidos:** la miel contiene aproximadamente 0.5 % de proteínas, principalmente como enzimas y aminoácidos. Los niveles de aminoácidos y proteína en la miel son el reflejo del contenido de nitrógeno, el cual es variable y no supera el 0.04 %. Entre el 40-80 % del nitrógeno total de la miel es proteína. Cerca de 20 proteínas no enzimáticas se han identificado en la miel, muchas de ellas son comunes a distintas mieles. Algunas de ellas tienen su origen en las abejas y otras en el néctar de la planta. La presencia de las proteínas en la miel resulta en una baja tensión superficial, lo que fomenta la formación de las finas burbujas de aire en una marcada tendencia al espumado (Huidobro y Simal, 2014).

La cantidad de aminoácidos libres en la miel es pequeña y no tiene importancia nutricional. En la miel se han encontrado entre 11 y 21 aminoácidos libres, de los cuales la prolina representa alrededor de la mitad del total. Además de la prolina, el ácido glutámico, alanina, fenilalanina, tirosina, leucina e isoleucina se presentan en niveles mayores. Los aminoácidos reaccionan con algunos de los azúcares para producir sustancias amarillas o cafés responsables del oscurecimiento de la miel durante su almacenamiento.

- **Los ácidos y el pH:** la gran dulzura de la miel enmascara en gran parte el sabor de los ácidos orgánicos presentes en la miel, estos representan aproximadamente el 0.5 % de los sólidos de este alimento. Los ácidos orgánicos son los responsables del bajo pH (3.5 a 5.5), de la miel y de la excelente estabilidad de la misma. Son varios los ácidos orgánicos que están presentes en la miel, aunque el que predomina es el ácido glucónico. El ácido glucónico se origina de la glucosa a través de la acción de la enzima glucosa oxidasa añadida por las abejas.

El efecto combinado de su acidez y el peróxido de hidrógeno ayudan a la conservación del néctar y la miel. Otros ácidos orgánicos contenidos en menor proporción en la miel son el fórmico, acético, butírico, láctico, oxálico, succínico, tartárico, maleico, pirúvico, piroglutámico, α -cetoglutámico, glicólico, cítrico, málico.

- Vitaminas y minerales: la cantidad de vitaminas en la miel y su contribución a la dosis recomendada diaria de este tipo de nutrientes es despreciable. El contenido mineral de la miel es altamente variable, de 0.02 a 1.0 %, siendo el potasio cerca de la tercera parte de dicho contenido; la cantidad de potasio excede 10 veces a la de sodio, calcio y magnesio. Los minerales menos abundantes en la miel son hierro, manganeso, cobre, cloro, fósforo, azufre y sílice.
- Componentes del aroma, color y sabor: existe una gran variedad de mieles con diferentes aromas, colores y sabores, dependiendo de su origen botánico. Los azúcares son los principales componentes del sabor. Generalmente la miel con un alto contenido de fructosa es más dulce que una miel con una alta concentración de glucosa. El aroma de la miel depende en gran medida de la cantidad de ácidos y aminoácidos. El color de la miel varía desde extra-clara, pasando por tonos ámbar y llegando a ser casi negra; algunas veces con luminosidad amarilla típica, verdosa o de tono rojizo.

El color está relacionado con el contenido de minerales, polen y compuestos fenólicos. Las mieles oscuras tienen un alto contenido de fenoles y consecuentemente una alta capacidad antioxidante.

- Conductividad eléctrica: este parámetro está relacionado con la concentración de sales minerales, ácidos orgánicos y proteínas, por lo cual es una medición útil para establecer el origen geográfico de los distintos tipos de mieles. Se ha sugerido a la medición de conductividad eléctrica como una técnica indirecta para determinar el contenido de minerales de distintos tipos de mieles, debido a que es un valor estable que no varía significativamente durante el almacenamiento del alimento, e indica si las abejas han sido alimentadas con azúcares. El rango de conductividad eléctrica en la miel es de 0.60 y 2.17 mS/cm (milisiemens/centímetro).

2.5. Miel como alimento

La miel es apreciada en todas partes como un alimento dulce y apetitoso. En períodos de escasez es una fuente útil de carbohidratos que contiene oligoelementos y agrega una diversidad nutritiva en un régimen alimenticio demasiado pobre. La miel ocupa un lugar importante en la preparación de alimentos tradicionales.

2.6. Miel como producto de valor comercial

La miel fresca local es siempre considerada de mejor calidad que la miel de importación. Muchos apicultores venden sus productos directamente a los consumidores. La miel es usada con frecuencia como un bien de intercambio en algunas aldeas, especialmente en áreas remotas o aisladas por la guerra o bloqueos económicos.

La miel es un bien estable que se conserva por mucho tiempo. Si es cosechada cuidadosamente puede ser conservada en cualquier lugar por varios años.

2.7. La apicultura como actividad económica

La apicultura es una actividad muy antigua que se ha desarrollado en diferentes partes del mundo. Las culturas europeas utilizaban a la abeja *Apis mellifera*, en cambio en América, las civilizaciones mesoamericanas cultivaron diversas variedades de los géneros *Trigona* y *Melipona*. La región y civilización que destacó en esta actividad fue la maya. La importancia de las abejas en esta civilización quedó expresada en edificaciones y documentos. Según el especialista apícola Alejandro Nicol, responsable del componente Miel en el área de inocuidad del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA); por lo menos el 80 por ciento (2,000 toneladas), de la miel que se produce en Guatemala se exporta y el otro 20 por ciento es consumido en el país.

La calidad de la miel de Guatemala la hace apetecible a nivel internacional, según Jorge Ibarra, presidente del Comité de la Asociación Guatemalteca de Exportadores (Agexport). En los últimos 10 años, la apicultura ha tomado fuerza en el país, pero ha recibido poca atención pública, en materia de políticas de desarrollo y asistencia financiera.

2.8. Comportamiento microbiológico de la miel

La miel, como todo producto de origen animal, tiene una flora microbiana original que le es propia. Esta carga microbiana introducida por las abejas está constituida por:

- Esporas de diversas especies de *Bacillus*
- Mohos
- Levaduras banales u osmófilas

A esta microflora original, se puede añadir una contaminación accidental o secundaria, que depende de:

- El propio hombre
- Las manipulaciones
- Los locales
- Los aparatos
- Los recipientes
- Los insectos predadores
- Roedores
- Animales de compañía

2.9. Microorganismos contaminantes

Las bacterias presentes en la miel pertenecen fundamentalmente al género *Bacillus* que se presentan en estado esporulado, aunque en mieles recientes también pueden estar en forma vegetativa. Una alteración importante que puede sufrir la miel debido a la presencia de microorganismos es la fermentación. La misma es originada por la germinación y desarrollo de levaduras que se encuentran normalmente en ella. Estas levaduras, que pueden encontrarse en el suelo de cualquier apiario, en el lugar donde se almacena la miel y en la colmena. Tienen la particularidad de que son capaces de crecer con grandes concentraciones de azúcar, y se le llaman por ello osmofílicas.

El contenido de agua en la miel es uno de los factores relacionados con el deterioro por fermentación. Los otros son el grado de contaminación por esporas de levaduras (recuento de levaduras), y la temperatura de almacenamiento. La miel con menos de 17% de agua no fermentará durante un año, independientemente del grado de contaminación con levaduras. Un contenido de

agua mayor al 19 % podría provocar la fermentación de la miel aún con un recuento muy bajo de levaduras.

2.10. Actividad enzimática de la miel

Para que la miel tenga varias características que la definen como un producto de alta o baja calidad depende de la actividad enzimática de las siguientes enzimas:

- La diastasa
- La invertasa
- Glucosa-Oxidasa
- La catalasa

2.11. Efecto del calentamiento en la miel

Colocar la miel en el mercado supone varias operaciones para poder cumplir con las expectativas de los consumidores, como también cumplir con las normas establecidas, una de las operaciones de procesamiento es el calentamiento.

- Como influye la temperatura en la cristalización:

La temperatura que más favorece la cristalización es de 14 °C. Temperaturas frías, por debajo de los 10 °C. retrasa la Cristalización, temperaturas moderadas de (10-21 °C), generalmente promueven la cristalización, temperaturas de (21-27 °C), retrasa la cristalización, pero degrada la miel y temperaturas muy altas (sobre los 27 °C), previenen la cristalización, pero incentivan la fermentación y la degradación de la miel.

El envase influye en la cristalización: la miel es sensible a la humedad que hay en la atmósfera.

Durante el almacenamiento, envases de polietileno (conocido comúnmente como plástico), de baja densidad, pueden permitir escape de humedad, que contribuiría al proceso de cristalización.

- Motivos por los que se somete a calentamiento la miel

Durante el manejo y envasado de la miel en algunas ocasiones es sometida a un calentamiento temporal controlado en intercambiadores de calor, con diversos fines, tales como disminuir su viscosidad, disolver partículas cristalizadas gruesas, destrucción de levaduras, entre otros. (Sin embargo, este calentamiento, y el incremento de su temperatura debido a mal manejo durante su transporte y almacenamiento, puede producir pequeños incrementos en su contenido de HMF). El calentamiento excesivo no solamente incrementa el HMF, sino que también incrementa la actividad diastásica y el color (ASSOCIATS A. - A., 2014).

2.12. Métodos de análisis para determinar la calidad de la miel

El índice de diastasa y el HMF son los parámetros más importantes para la determinación de la calidad de una miel procesada. Para que una miel pueda ser comercializada necesita cumplir con los parámetros que rige la normativa vigente del CODEX, esta normativa incluye los valores máximos y mínimos que debe tener la miel de abeja con respecto al valor del índice de diastasa y HMF.

2.13. Índice de diastasa o actividad diastasa

La diastasa o amilasa es una enzima de origen vegetal, contenida en ciertas semillas germinadas y otras partes de las plantas. Cataliza la hidrólisis del almidón. La miel contiene enzimas, tanto de origen vegetal como animal; las más importantes son la diastasa o amilasa que hidroliza el almidón en glucosa y la invertasa o sacarasa que hidroliza la sacarosa en glucosa (la invertasa hace referencia a que los productos de la reacción son conocidos como azúcares invertidos debido al cambio rotacional que modifica sus propiedades ópticas; de una rotación positiva o dextrógira a una rotación negativa o levógira), que así son reductores, ambas son inestables al calor, sobre todo la invertasa, y se deterioran con el tiempo.

Existe también una glucosidasa que transforma la glucosa en ácido glucónico, una catalasa y una fosfatasa; siendo estas últimas de las enzimas más reconocidas que diferencian a la miel de abeja de los diferentes edulcorantes que existen. La miel pasa por diferentes procesos de calidad antes de ser lanzadas al mercado. Uno de los procesos más importantes es el envasado de esta, en donde se debe someter a calentamiento para disminuir la viscosidad y la cristalización, que causarían problemas a la hora de realizar el fraccionamiento y posterior envasado, teniendo en cuenta que también evita el crecimiento de algunos microorganismos (como los mohos y otras bacterias dañinas para la salud del consumidor).

La temperatura y el tiempo en que se lleva a cabo el calentamiento de la miel causa daños en las propiedades de la misma y pueden ser evidenciados por los parámetros de calidad de la miel que son dados por la actividad de la diastasa, disminuyendo la actividad de la misma y aumentando el hidroximetilfurfural (HMF), que permite saber la frescura de la miel, y se produce por la destrucción

de algunos azúcares o envejecimiento de la miel, los cuales teniendo en cuenta las normas internacionales de regulación de la comisión internacional de la miel, no deben ser menor o igual a 8 expresada en números de diastasa (DN). Sabiendo que DN en la escala de Schade corresponde al número de la escala de Gothe, que se define como gramos de almidón hidrolizado en 1 hora a 40 °C por cada 100g de miel.

La determinación de la actividad diastasa fue realizada con base al método de Schade (1958), y modificada por Hardon (1961). Este método consiste en medir la velocidad de hidrólisis de una solución de almidón al 2 % (p/v), por la enzima diastasa, presente en la miel de forma natural.

- Hidroximetilfurfural (HMF)

El HMF es el criterio más importante y fiable para detectar el calentamiento de la miel, dado que posee la ventaja de no estar presente en la miel fresca. El hidroximetilfurfural (HMF), es un indicador de la frescura de la miel al igual que las actividades enzimáticas de la invertasa y la diastasa. El HMF es un compuesto (aldehído) que se forma por deshidratación de los azúcares, especialmente de la fructosa. Esa formación de HMF ocurre naturalmente con el transcurso del tiempo y es acelerado si la miel es sometida a elevadas temperaturas en los procesos de extracción, homogenización, entre otros.

El HMF es un aldehído cíclico que se origina espontáneamente a partir de la fructosa en medio ácido (pH cercano a 3,9), en un proceso de reacción lento, pero que puede ser acelerado por efecto de la temperatura. El HMF no es una sustancia tóxica ni altera la miel a no ser que se encuentre en cantidad excesiva, lo que generalmente provoca el oscurecimiento de la misma por interacciones

con aminoácidos y azúcares, sufriendo polimerización y reordenación, tanto en presencia como ausencia de oxígeno (Díaz, Zuluaga y Quicazán, 2022).

2.14. Proceso de envasado

En las salas de extracción y envasado de miel, tanto en tambores como en frascos, deberán cumplir con lo siguiente:

- El envasado debe realizarse en un ambiente que cumpla condiciones mínimas de inocuidad.
- Higienizar antes de abrir los tambores con miel que ingresan a la sala de envasado. La miel para envasar debe estar limpia, fluida y exenta de residuos.
- Es conveniente realizar el muestreo de cada lote, conservar una muestra testigo y llevar un registro que permita identificar el origen y destino de cada uno.
- A través del muestreo y mediante los análisis de laboratorio correspondientes, se pueden determinar características físicas, químicas, residuos y adulteraciones.
- La miel debe acondicionarse para su envasado.
- Este tratamiento consiste en calentamiento, homogeneizado, espumado y filtrado.

- El calentamiento de la miel permite una mayor fluidez y facilita los procesos de homogeneizado, filtrado y envasado. Cuando la miel haya cristalizado en los tambores, deberá someterse a un proceso de calentamiento, controlando la temperatura a un máximo de 50 °C durante 24 horas.
- Para la pasteurización y homogeneizado de la miel es necesario elevar la temperatura durante un máximo de tiempo en baño maría, con un sistema de mezclado lento.
- Una vez que se registran los niveles de viscosidad buscados, se produce la suspensión de numerosas partículas y se forma una capa de espuma que debe retirarse con una pala de acero inoxidable de forma higiénica.
- En el envasado debe procurarse no incorporar aire en el flujo de miel e inmediatamente después del llenado tapar los envases.
- Los envases deben ser de peso reducido; resistente a ruptura; con cierre hermético; higiénico y de fácil vaciado; invariablemente nuevos, adecuados para las condiciones previstas de almacenamiento y que protejan apropiadamente el producto contra la contaminación. En general, los materiales idóneos para envasar la miel son el vidrio y resinas como el Tereftalato de Polietileno (PET).
- Los dos factores fundamentales que condicionan la conservación de la miel son: la humedad relativa y la temperatura. La miel debe conservarse a una temperatura cercana a los 20 °C y a una humedad no superior al 60 %, ya que de superar dichos valores el producto puede absorber agua.

- A su vez, es necesario que los cambios térmicos sean bajos y que el ambiente esté libre de olores desagradables (ASSOCIATS A.-A. G., 2022).

Figura 1. **Diagrama de flujo envasado de la miel**



Fuente: elaboración propia, realizado con Visio 2019.

3. DISEÑO METODOLOGICO

Se determinaron dos parámetros de calidad que se mide en la miel de abeja el índice de diastasa (ID) e hidroximetilfurfural (HMF), estos parámetros tuvieron que cumplir con rangos establecidos en la normativa CODEX STAN 12-1981 que estipula que para que una miel se considera con buena calidad y fresca tiene que tener un índice de diastasa no menor a 8 escala de Goethe y HMF no mayor a 40 mg/kg.

3.1. Variables

Se presentarán las variables dependientes e independientes que fueron consideradas dentro de las pruebas.

3.1.1. Variables independientes

- Temperatura
- Tiempo
- Concentración

3.1.2. Variables dependientes

- Absorbancia
- Viscosidad
- Índice de Diastasa
- Hidroximetilfurfural

3.2. Delimitación del campo de estudio

La parte experimental del estudio a realizar que refiere al efecto del calentamiento en la calidad de la miel de abeja y determinación de la temperatura óptima, para el proceso de envasado de la misma, se llevó a cabo en el laboratorio de Desarrollo de Soluciones Globales (DSG), con la asesoría y apoyo de los técnicos de las áreas de fisicoquímica y microbiología respectivamente, consiguiendo la materia prima con ayuda del jefe del Departamento de productos de origen animal e hidrobiológico del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

3.3. Recursos humanos disponibles

- Técnico de Laboratorio de Fisicoquímica
- Asesor: Ing. Qco Juan Carlos González Soto
- Técnico de Laboratorio Microbiológico
- Personal del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, encargados de la cosecha de miel en los apiarios inscritos de Guatemala.

3.4. Recursos, materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)

Según el profesor Lavie, de la Estación Experimental de Montfavet-Cantarel, en Francia, la pasterización mata las levaduras, destruye los cristales, un 80 por ciento de la invertasa y el 25 por ciento de la amilasa, no modifica los azúcares y provoca la formación de hidroximetilfurfural (HMF), sustancia característica de las mieles calentadas o viejas (ASSOCIATS A. -A., 2014).

El laboratorio técnico microbiológico cuenta con los siguientes recursos disponibles para la ejecución de las pruebas.

3.4.1. Equipo y cristalería

- Espectrofotómetro
- Beacker (10 ml, 50 ml, 100 ml, 200 ml y 500 ml)
- Erlenmeyer (50 ml, 100 ml, 200 ml y 500 ml)
- Probetas
- Termómetro °C
- Cronometro
- Tubos de ensayo
- Equipo para baño maría
- Pipetas plásticas
- Pipeta electrónica
- Piseta

3.4.2. Reactivos

- Solución Carrez I: ferrocianuro de potasio trihidratado
- Solución Carrez II: acetato de zinc dihidratado
- Sulfito ácido de sodio
- Acetato de sodio
- Cloruro de sodio
- Almidón de papa
- Solución de Yodo
- Yoduro de potasio
- Agua destilada
- Ácido acético

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

El presente estudio se basó en la generación, análisis y observación de datos que se obtuvieron experimentalmente a nivel laboratorio, para determinar el efecto que causa el proceso de calentamiento en la miel de abeja y la determinación de la temperatura óptima, en el proceso de envasado de esta. Por el entorno del estudio en mención, se utilizó una técnica cuantitativa, debido a que es una investigación en la que se obtuvieron resultados numéricos que se analizaron con análisis estadístico para probar la hipótesis y realizar un seguimiento de la fuerza y dirección de los efectos.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

El desarrollo del proyecto de investigación *Evaluación del efecto del calentamiento en la calidad de la miel de abeja proveniente de apiarios regionales de la costa sur de Guatemala, por medio del valor del índice de diastasa e hidroximetilfurfural para determinar la temperatura óptima en el proceso de envasado*, fue dividido en dos etapas para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados:

- Identificación del proceso térmico que lleva la miel de abeja para el envasado y la determinación del efecto que causa el calentamiento en la miel de abeja.

Primeramente, analizar el proceso térmico que lleva la miel de abeja para envasarla y comercializarla. Se utilizó la temperatura más comúnmente usada de 50 °C, y el tiempo que dura el proceso de calentamiento 3-4 min. Una vez identificado el proceso térmico, y las variables de temperatura y tiempo, se determinó el efecto que causa el calentamiento en la calidad de la miel por medio

de dos métodos de análisis fisicoquímicos: determinación del valor de índice de diastasa (actividad diastásica), y determinación de hidroximetilfurfural (HMF).

Se obtuvieron 10 muestras diferentes de miel virgen, y se les midió el valor de HMF, actividad diastásica y se realizó un análisis microbiológico sembrando en una placa para determinar la cantidad bacterias encontradas en la muestra que no ha sido pasada por ningún proceso que modifique sus propiedades. Posteriormente, simular el proceso de calentamiento por el que se somete la miel, utilizando un baño maría a temperatura controlada, y las condiciones de tiempo y temperatura mencionadas anteriormente. Finalmente, se midió nuevamente el valor de HMF, actividad diastásica y se realizaron de nuevo los análisis microbiológicos, para así determinar si el calentamiento tuvo algún efecto comparando los valores iniciales y finales determinados por los métodos propuestos.

- Determinación y propuesta de la temperatura óptima para un proceso térmico adecuado en la miel de abeja.

Confirmado que la temperatura tuvo un efecto en la calidad de la miel, se realizaron nuevamente las pruebas para evaluar el índice de diastasa e hidroximetilfurfural, pero utilizando 2 temperaturas más. Específicamente se utilizaron ± 5 °C de la temperatura inicial de 50 °C. Una vez obtenido los valores de HMF y actividad diastásica de las muestras, realizando 3 corridas por muestra, a las temperaturas óptimas determinadas, para de esta forma poder identificar la temperatura que menos impacte en la calidad de la miel.

- Procedimiento para la determinación del índice de diastasa
 - Pesar 5 g de miel en un Beacker

- Añadir 2.5 mL de solución amortiguadora
 - Agregar 10-15 mL de agua desmineralizada y disolver la mezcla
 - Adicionar 1.5 mL de cloruro de sodio (NaCl) en un matraz aforado de 25 mL.
 - Agregar la muestra de miel disuelta y aforar.
 - Verter 10 mL de la solución de miel y colocar en baño maría a 40 °C junto con el matraz que contiene almidón de papa.
 - Esperar por 15 min.
 - Adicionar 5 mL de la solución de almidón en la solución de miel y mezclar.
 - Cronometrar 5 min.
 - Tomar 1 mL de la mezcla anterior y adicionarle 10 mL de la solución de Yodo. Mezclar y Determinar inmediatamente la absorbancia.
 - Repetir el paso anterior hasta alcanzar una absorbancia menos de 0.235.
- Determinación del valor del índice de diastasa

$$ID = \frac{300}{t}$$

Dónde:

ID: Índice de Diastasa

t: tiempo en minutos

300: constante determinada por conversión)

- Procedimiento para la determinación del hidroximetilfurfural (HMF)

- Pesar 5 gramos de miel en un beacker y disolver en 25 mL de agua desmineralizada.
 - Añadir a la solución diluida 0.5 mL de solución Carrez I y 0.5 mL de solución Carrez II.
 - Transferir y aforar la mezcla en un matraz de 50 mL.
 - Mezclar y filtrar la solución. (Despreciar los primeros 10 mL del filtrado, para quitar las moléculas de oxígeno disuelto que se encuentren en la superficie).
 - Pipetear 5 mL de la muestra filtrada en un tubo de ensayo.
 - Agregar 5 mL de agua destilada al tubo de ensayo que contiene la muestra y 5 mL de sulfito acido de sodio.
 - Mezclar la solución.
 - Determinar la absorbancia de la muestra a 284 nm y 336 nm. (Hacer auto cero en el espectrofotómetro con agua destilada para cada longitud de onda).
- Determinación del contenido de HMF expresado en mg por 100 g de miel

$$HMF \left(\frac{mg}{100g} \right) = \frac{(A1 - A2) \times F \times 5}{P}$$

Dónde:

HMF: hidroximetilfurfural

A1: absorbancia medida a 284 nm

A2: absorbancia medida a 336 nm

P: peso de la muestra en gramos

F: 14.97 (factor para expresarlo en mg/100g)

- Determinación de la carga bacteriana en la miel de abeja

Se determinó la carga bacteriana de las muestras estudiadas como miel virgen (sin ningún tipo de proceso que altere sus propiedades), y al finalizar el estudio, determinando la temperatura óptima para realizar un proceso de calentamiento eficaz. Se sembraron placas de recuento aeróbico por cada muestra analizada, estas se leyeron cuando el tiempo de incubación finalizó. Luego se volvió a realizar el mismo proceso de siembra de placas, en las muestras calentadas a la temperatura óptima, que afecte lo menos posible las propiedades de la miel de abeja y pero que cumpla con las condiciones físicas y biológicas.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos y resultados obtenidos experimentalmente de los métodos fisicoquímicos utilizados para el análisis y determinación del efecto del calentamiento en la calidad de la miel de abeja se ordenaron en tablas y gráficas respectivamente.

- Identificación del proceso térmico

Identificación del proceso térmico que lleva la miel de abeja para el envasado y la determinación del efecto que causa el calentamiento en la miel de abeja.

Valores de índice de diastasa e hidroximetilfurfural en las muestras de miel virgen analizadas en la tabla I.

Tabla I. **Valores de índice miel virgen**

MUESTRAS	ID (Gothe)	HMF (mg/g)	RECUESTO AEROBICO (u.f.c/mL)
A	15.79	0.9131	20
B	13.04	0.5988	20
C	25	0.3743	<10
D	37.5	0.6287	<10
E	50	0.3293	10
F	23.08	0.7635	70
G	25	0.3144	300
H	11.54	0.7335	20
I	17.65	0.2994	30
J	15	0.464	>300

Fuente: elaboración propia.

Valores de índice de diastasa e hidroximetilfurfural de las muestras de miel simulando el proceso de calentamiento en la tabla II.

Tabla II. **Valores de índice simulando el proceso de calentamiento**

MUESTRA 50 °C	ID (Gothe)	HMF (mg/kg)
A1	8.57	0.9089
B1	10.71	1.093
C1	20	0.9731
D1	11.11	0.9431
E1	8.12	0.9431
F1	17.5	0.9581
G1	18.57	0.8084
H1	10	0.9132
I1	15.54	0.9431
J1	12	0.8682

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el valor de las variables a utilizar en la fórmula para la determinación del índice de diastasa e hidroximetilfurfural, se utilizará el siguiente tipo de tabla para cada muestra analizada respectivamente.

- Fórmula cuantitativa:

$$ID = \frac{300}{t} \quad HMF \left(\frac{mg}{100g \text{ de miel}} \right) = \frac{(A1-A2) \times 14.97 \times 5g}{5g \text{ de miel}}$$

Tiempo en minutos en cumplir con un valor de absorbancia <0.235, para cada muestra virgen, se muestra en la tabla III.

Tabla III. **Tiempo en minutos en cumplir con valor de absorbancia muestras vírgenes**

MUESTRAS (vírgenes)	Tiempo (min)
A	19.00
B	23.01
C	12.00
D	8.00
E	6.00
F	13.00
G	12.00
H	26.00
I	17.00
J	20.00

Fuente: elaboración propia.

Tiempo en minutos en cumplir con un valor de absorbancia <0.235, para cada muestra simulando el proceso de calentamiento a 50 °C. Se muestra en la tabla IV.

Tabla IV. **Tiempo en minutos en cumplir con valor de absorbancia muestras simulando proceso calentamiento**

MUESTRA 50 °C	Tiempo (min)
A1	35
B1	28
C1	15
D1	27
E1	37
F1	40
G1	35
H1	30
I1	26
J1	25

Fuente: elaboración propia.

Valores de la absorbancia en muestras vírgenes analizadas, para la determinar el valor de hidroximetilfurfural. Se muestra en la tabla V.

Tabla V. **Valores de absorbancia muestras vírgenes analizadas**

MUESTRAS (vírgenes)	Absorbancia (284nm)	Absorbancia (336nm)
A	0.101	0.04
B	0.107	0.067
C	0.09	0.065
D	0.118	0.076
E	0.11	0.088
F	0.12	0.069
G	0.119	0.098
H	0.108	0.59
I	0.107	0.087
J	0.105	0.074

Fuente: elaboración propia.

Valores de la absorbancia en muestras vírgenes analizadas para determinar el valor de hidroximetilfurfural. Se muestra en la tabla VI.

Tabla VI. **Valores de la absorbancia en muestras vírgenes para determinar el valor de hidroximetilfurfural**

MUESTRA 50 °C	Absorbancia (284nm)	Absorbancia (336nm)
A1	0.099	0.038
B1	0.097	0.024
C1	0.101	0.036
D1	0.097	0.034
E1	0.07	0.007
F1	0.065	0.001
G1	0.089	0.035
H1	0.063	0.002
I1	0.1	0.037
J1	0.102	0.044

Fuente: elaboración propia.

- Determinación y propuesta de la temperatura óptima para un proceso térmico adecuado en la miel de abeja.

Valores de índice de diastasa e hidroximetilfurfural de las muestras de miel simulando el proceso de calentamiento, para determinar la temperatura óptima. Se muestra en la tabla VII.

Tabla VII. **Valores para determinar temperatura óptima**

MUESTRA 45 °C	ID (Gothe)	t(min)	HMF (mg/kg)	Absorbancia (284nm)	Absorbancia (336nm)	Desviación (HMF)
A2	20	15	0.8683	0.123	0.065	0.2321
	20	15	0.9581	0.11	0.046	
	21.43	14	0.7934	0.107	0.054	
b2	15	20	1.3772	0.134	0.042	0.3556
	15	20	0.9731	0.13	0.065	
	16.67	18	1.2724	0.133	0.048	
c2	30	10	1.1677	0.11	0.032	0.1347
	33.33	9	1.2276	0.109	0.027	
	25	12	1.2078	0.107	0.033	
d2	21.43	14	1.1976	0.114	0.034	0.144
	20	15	1.1377	0.118	0.042	
	21.43	14	1.2126	0.119	0.038	
e2	15	20	1.3627	0.105	0.014	0.2749
	18.5	16	1.2575	0.108	0.024	
	18.5	16	0.8832	0.099	0.04	

Fuente: elaboración propia.

Valores de índice de diastasa e hidroximetilfurfural de las muestras de miel simulando el proceso de calentamiento, para determinar la temperatura óptima. Ver tabla VIII.

Tabla VIII. **Valores de las muestras simulando proceso de calentamiento para determinar temperatura óptima**

MUESTRA 55 °C	ID (Gothe)	t(min)	HMF (mg/kg)	Absorbancia (284nm)	Absorbancia (336nm)	Desviación (HMF)
A3	15	20	0.9581	0.065	0.001	0.1206
	15	20	0.9132	0.063	0.002	
	13.63	22	0.9431	0.07	0.007	
B3	16.66	18	1.5389	0.107	0.0042	0.096
	15	20	1.4371	0.102	0.006	
	16.66	18	1.3473	0.093	0.003	
C3	10	33	0.9731	0.101	0.036	0.1207
	9.09	33	1.0778	0.089	0.017	
	10	30	0.9431	0.097	0.034	
D3	13.63	22	1.003	0.104	0.037	0.1332
	15	20	1.0778	0.098	0.026	
	14.29	21	1.0629	0.107	0.036	
E3	12	25	1.018	0.102	0.034	0.0627
	11.54	26	1.093	0.097	0.024	
	10	30	0.8832	0.099	0.04	

Fuente: elaboración propia.

Determinación de la carga bacteriana en las muestras calentadas a una temperatura de 45 °C. Ver tabla IX.

Tabla IX. **Determinación de la carga bacteriana**

MUESTRAS 45 °C	ID (Gothe)	HMF (mg/kg)	RECuento AEROBICO (u.f.c/mL)
A2	20.47	0.7934	0
B2	15.56	1.2724	0
C2	29.44	1.2078	0
D2	20.95	1.2126	0
E2	17.2	0.8832	0

Fuente: elaboración propia.

Determinación de la carga bacteriana en las muestras calentadas a una temperatura de 55 °C. Ver tabla X.

Tabla X. **Determinación de la carga bacteriana en muestras calentadas**

MUESTRAS 55 °C	ID (Gothe)	HMF (mg/kg)	RECuento AEROBICO (u.f.c/mL)
A3	14.54	0.9431	<10
B3	16.67	1.3473	<10
C3	9.70	0.9431	10
D3	14.30	1.0629	0
E3	11.18	0.8832	20

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Se utilizaron los datos obtenidos en los análisis de las muestras de miel de abeja tomadas en los diferentes apiarios inscritos en el Ministerio de

Agricultura, Ganadería y Alimentación, aplicando un análisis estadístico bajo un análisis de varianza ANOVA.

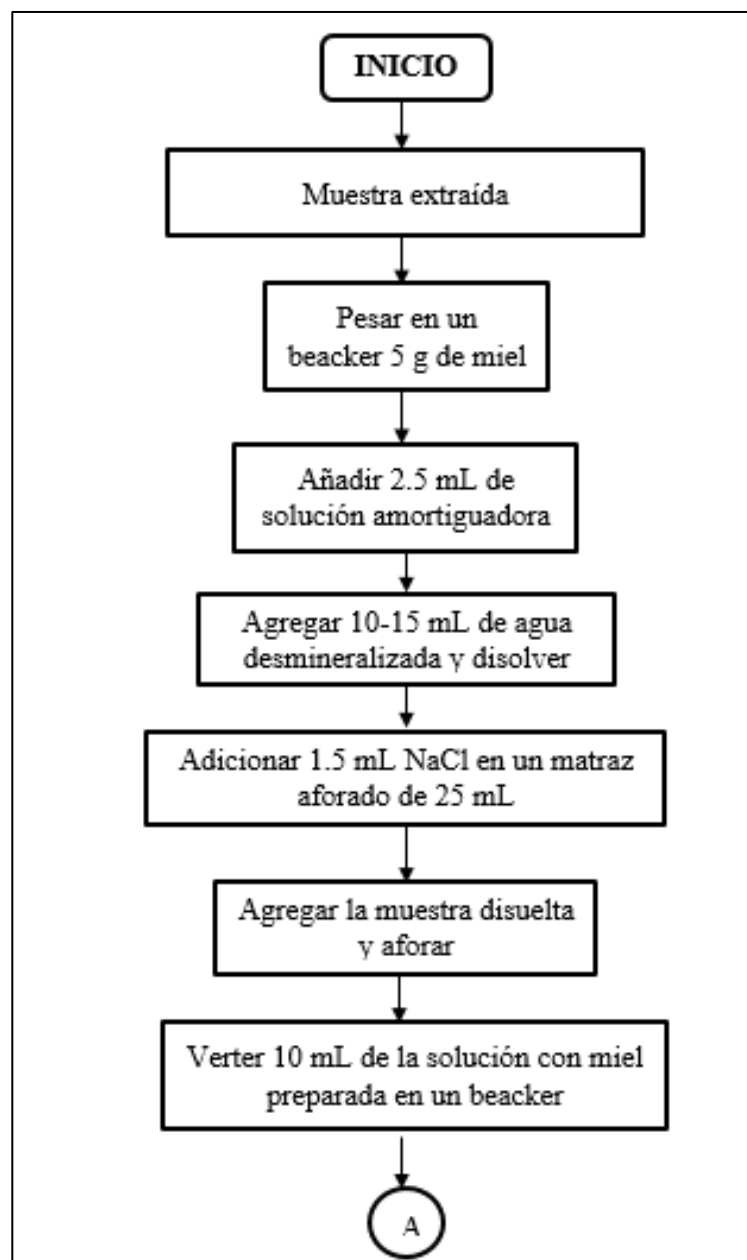
3.9. Plan de análisis de resultados

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos por cada prueba.

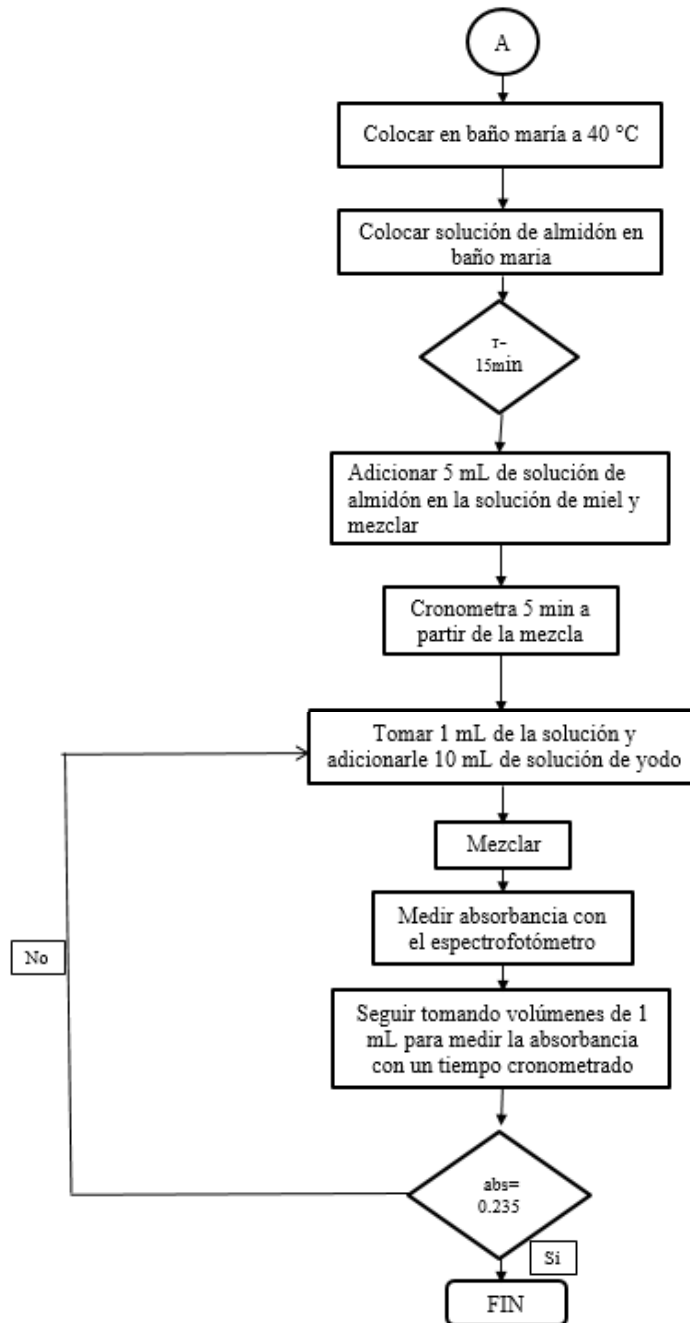
3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

- Programas para utilizar para análisis de datos
 - Programa para ordenamiento y toma de datos Excel

Figura 2. Diagrama de procedimiento para la determinación índice de diastasa

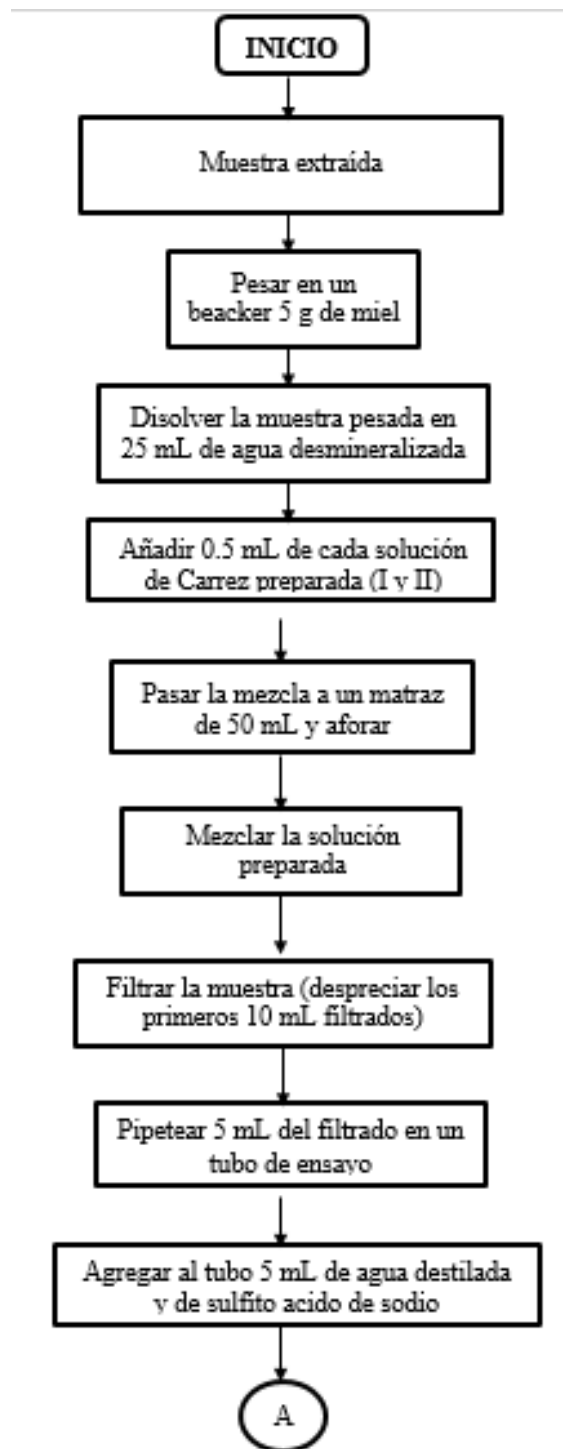


Continuación de la figura 2.

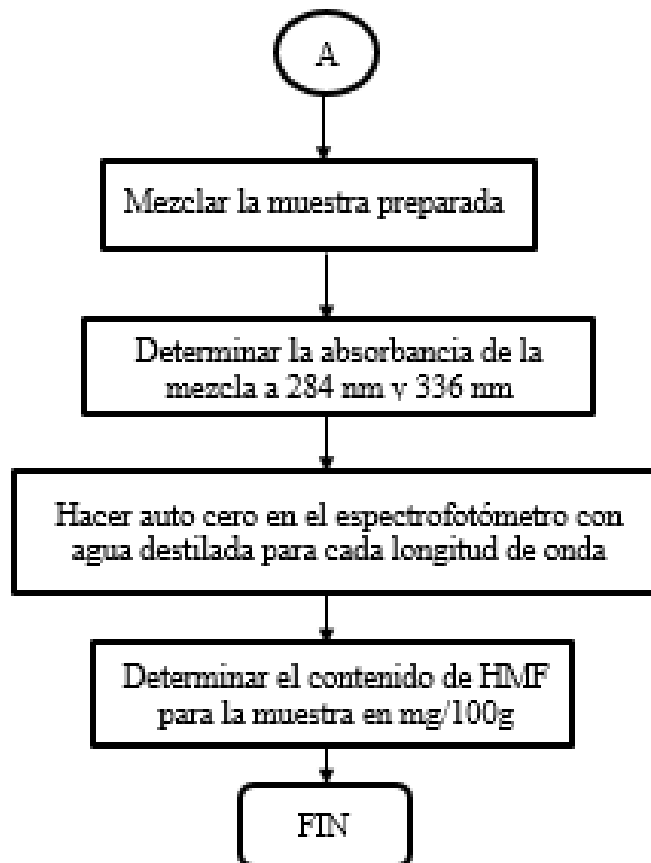


Fuente: elaboración propia, realizado con Visio 2019.

Figura 3. Diagrama de procedimiento para la determinación del HMF



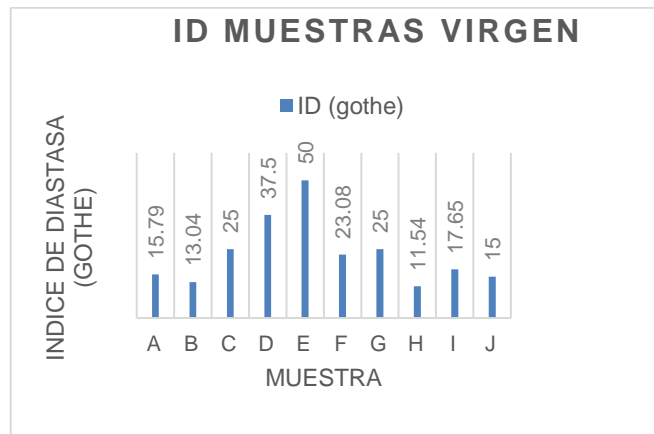
Continuación de la figura 3.



Fuente: elaboración propia, realizado con Visio 2019.

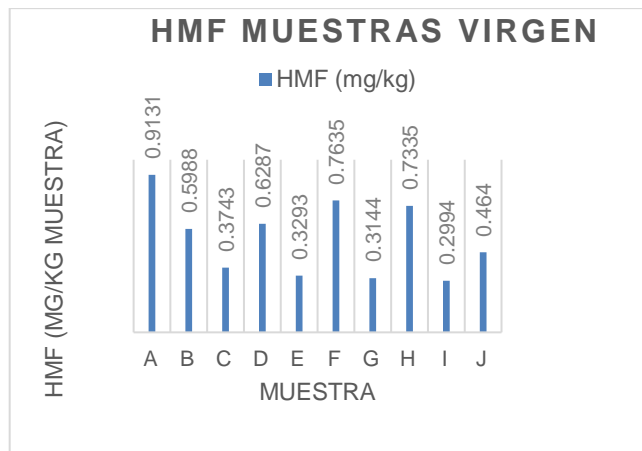
4. RESULTADOS

Figura 4. **Determinación del índice de diastasa muestras vírgenes**



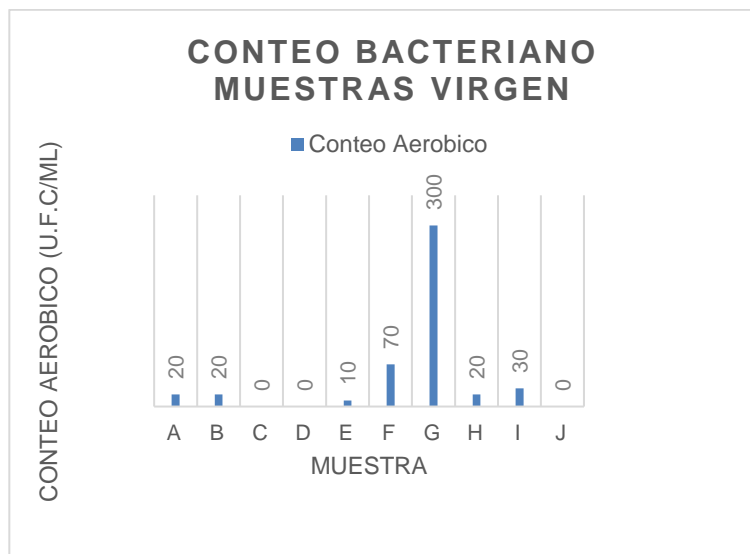
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Determinación del hidroximetilfurfural muestras vírgenes**



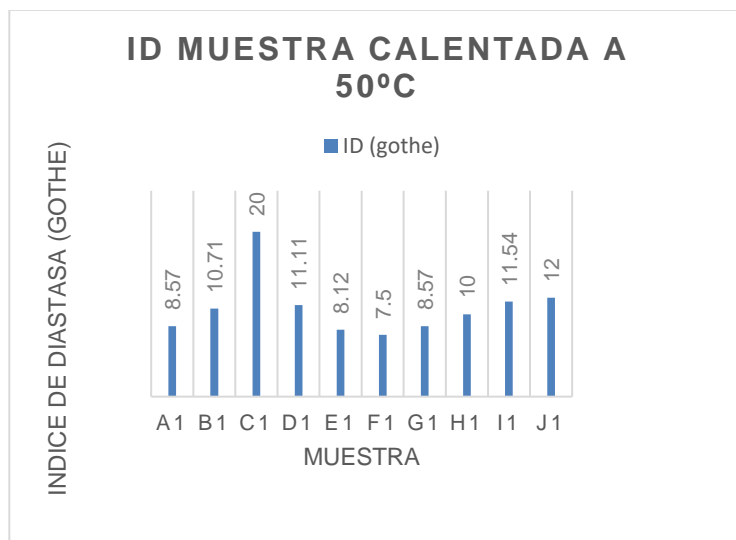
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Determinación del conteo bacteriológico muestras vírgenes**



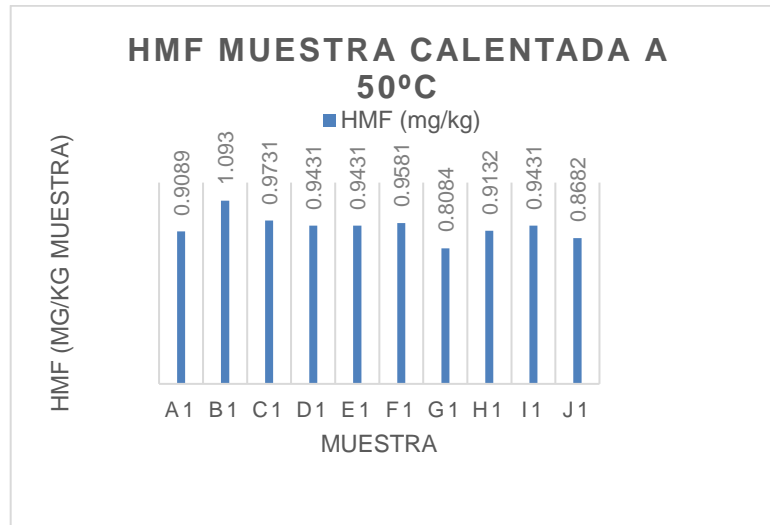
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Resultados obtenidos del índice de diastasa T=50 °C**



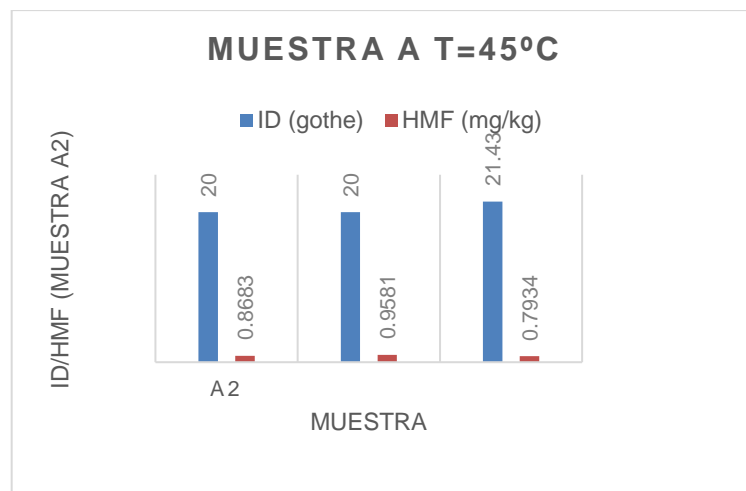
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Resultados obtenidos del hidroximetilfurfural T=50 °C**



Fuente: elaboración propia.

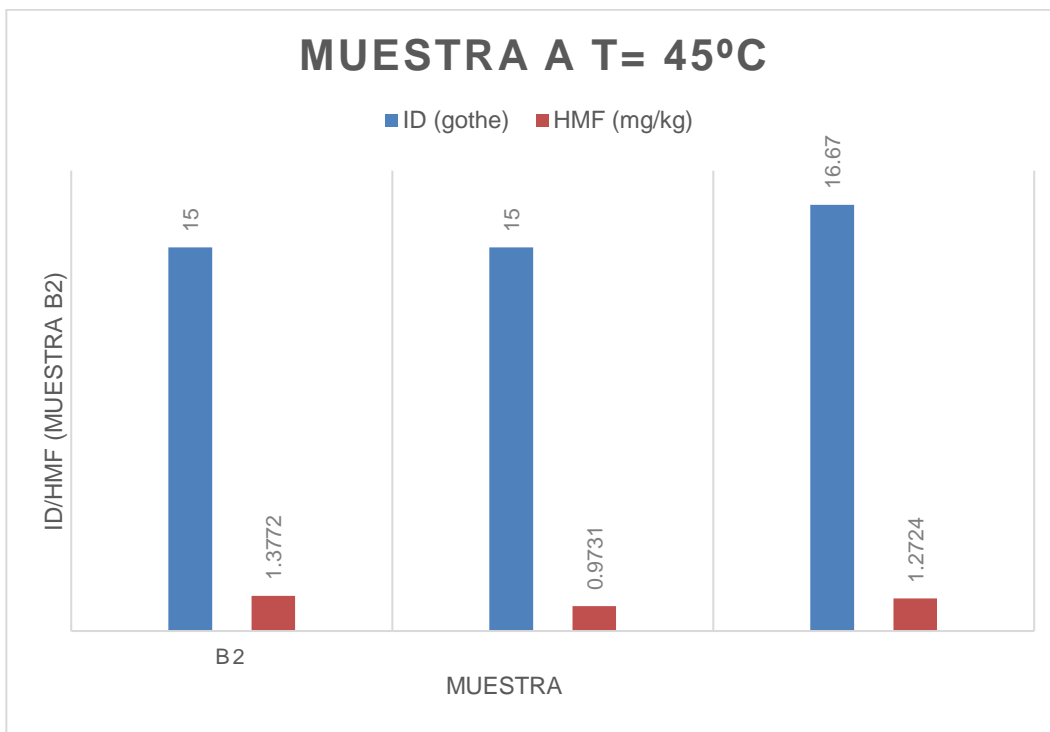
Figura 9. **Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural para encontrar temperatura óptima A2**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 9 se mostraron los resultados obtenidos del índice de diastasa (Gothe) e hidroximetilfurfural (mg/kg), para encontrar la tempera óptima en el calentamiento de la miel de abeja: Temperatura ± 5 °C.

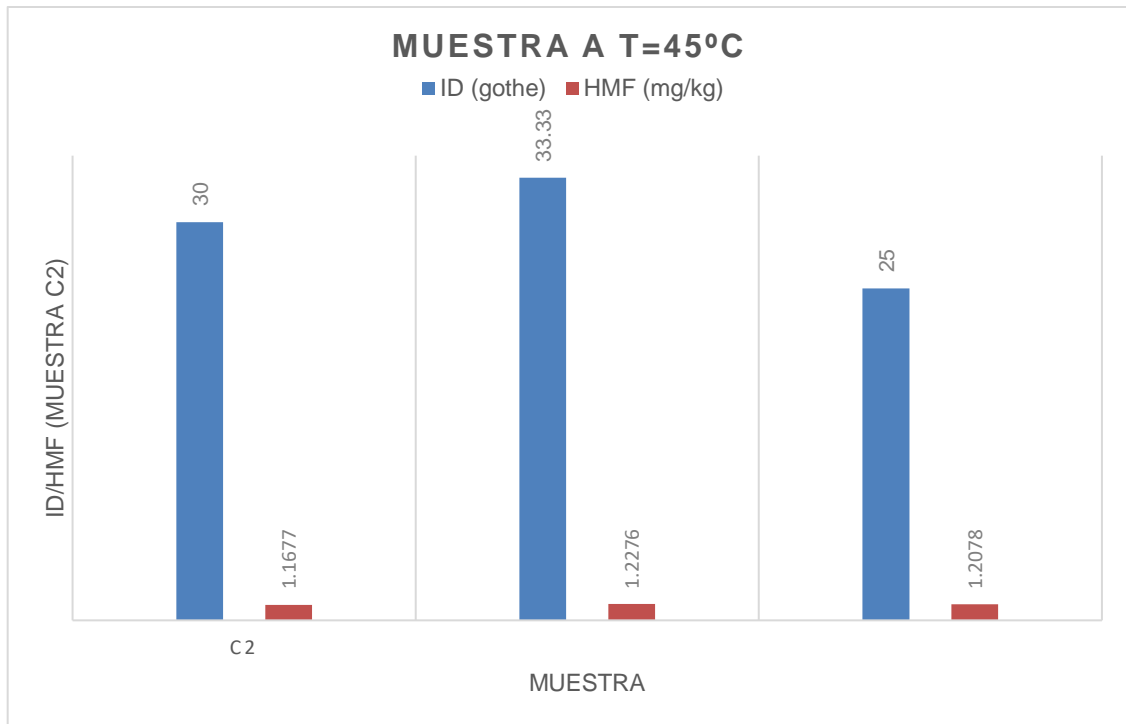
Figura 10. **Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural B2**



Fuente: elaboración propia.

La figura 10 muestra los resultados obtenidos del índice de diastasa (escala de Gothe) e hidroximetilfurfural (mg/kg), para encontrar la tempera óptima en el calentamiento de la miel de abeja: Temperatura ± 5 °C.

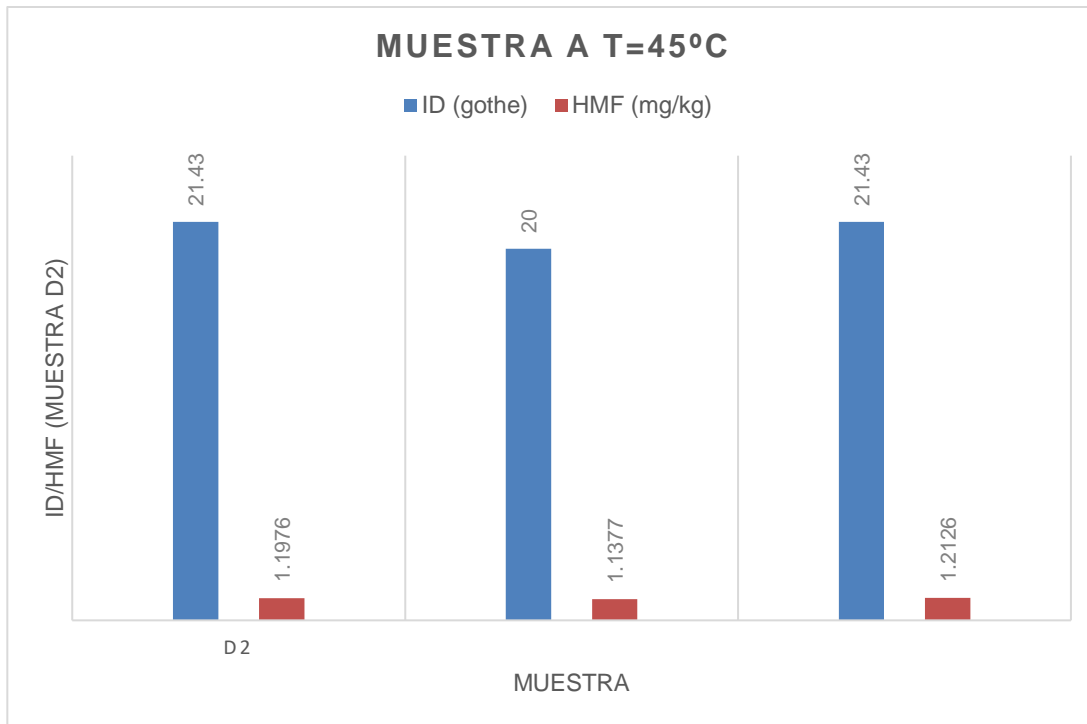
Figura 11. **Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural C2**



Fuente: elaboración propia.

La figura 11 muestra los resultados obtenidos del índice de diastasa (escala de Gothe) e hidroximetilfurfural (mg/kg), para encontrar la temperatura óptima en el calentamiento de la miel de abeja: Temperatura ± 5 °C.

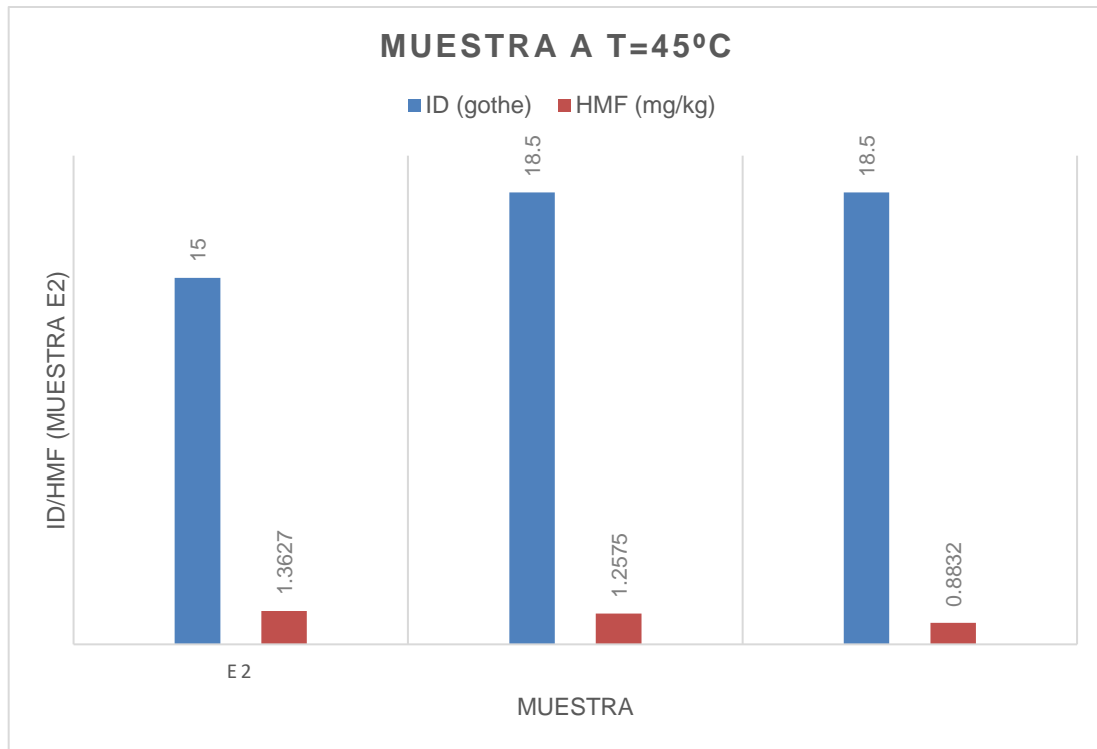
Figura 12. **Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural D2**



Fuente: elaboración propia.

La figura 12 muestra los resultados obtenidos del índice de diastasa (escala de Gothe) e hidroximetilfurfural (mg/kg), para encontrar la temperatura óptima en el calentamiento de la miel de abeja: Temperatura ± 5 °C.

Figura 13. **Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural E2**



Fuente: elaboración propia.

La figura 13 muestra los resultados obtenidos del índice de diastasa (escala de Gothe) e hidroximetilfurfural (mg/kg), para encontrar la temperatura óptima en el calentamiento de la miel de abeja: Temperatura ± 5 °C.

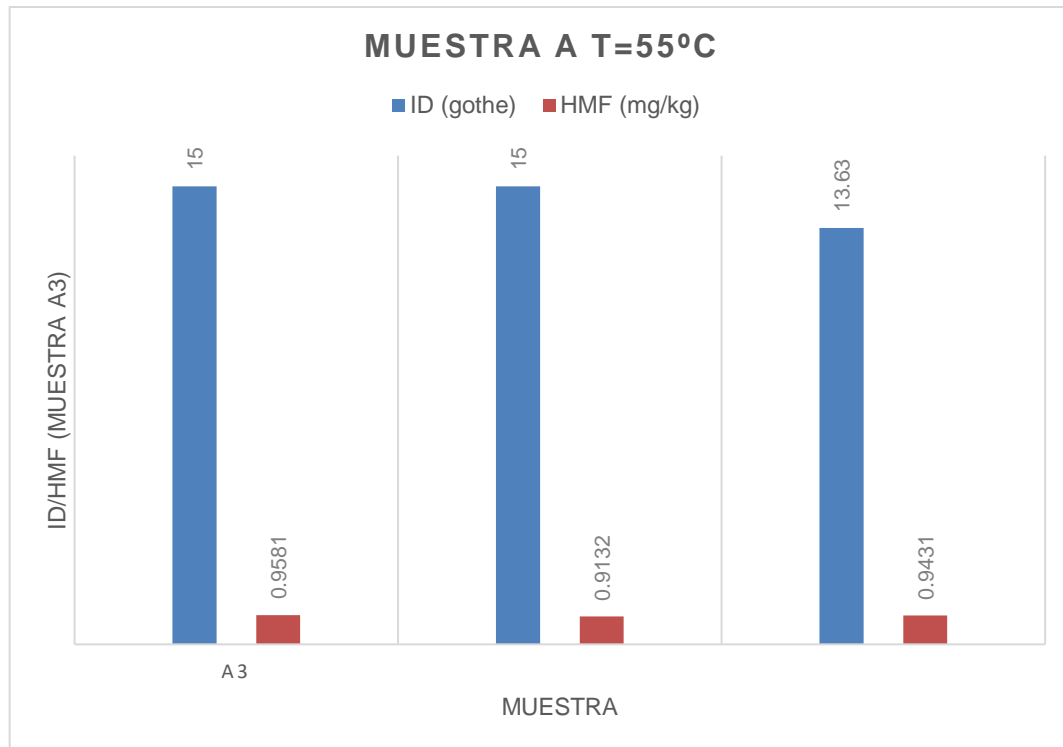
Figura 14. **Desviación estándar hidroximetilfurfural**



Fuente: elaboración propia.

La figura 14 muestra la desviación estándar del hidroximetilfurfural, para las muestras analizadas con la temperatura óptima $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

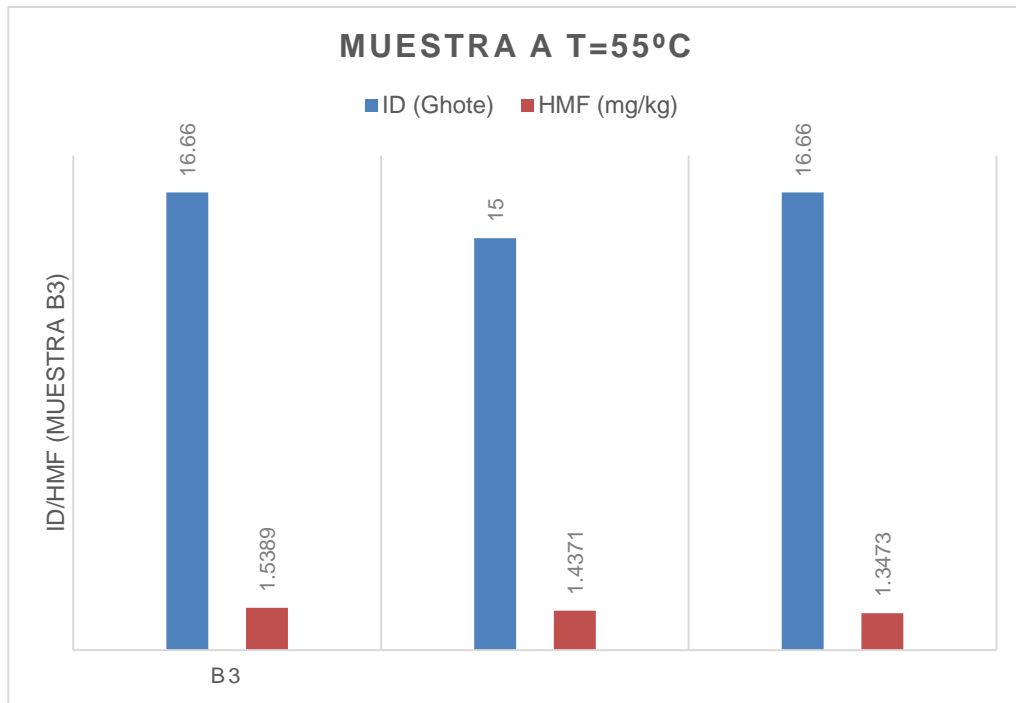
Figura 15. **Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural A3**



Fuente: elaboración propia.

La figura 15 muestra los resultados obtenidos del índice de diastasa (escala de Gothe) e hidroximetilfurfural (mg/kg), para encontrar la temperatura óptima en el calentamiento de la miel de abeja: Temperatura ± 5 °C.

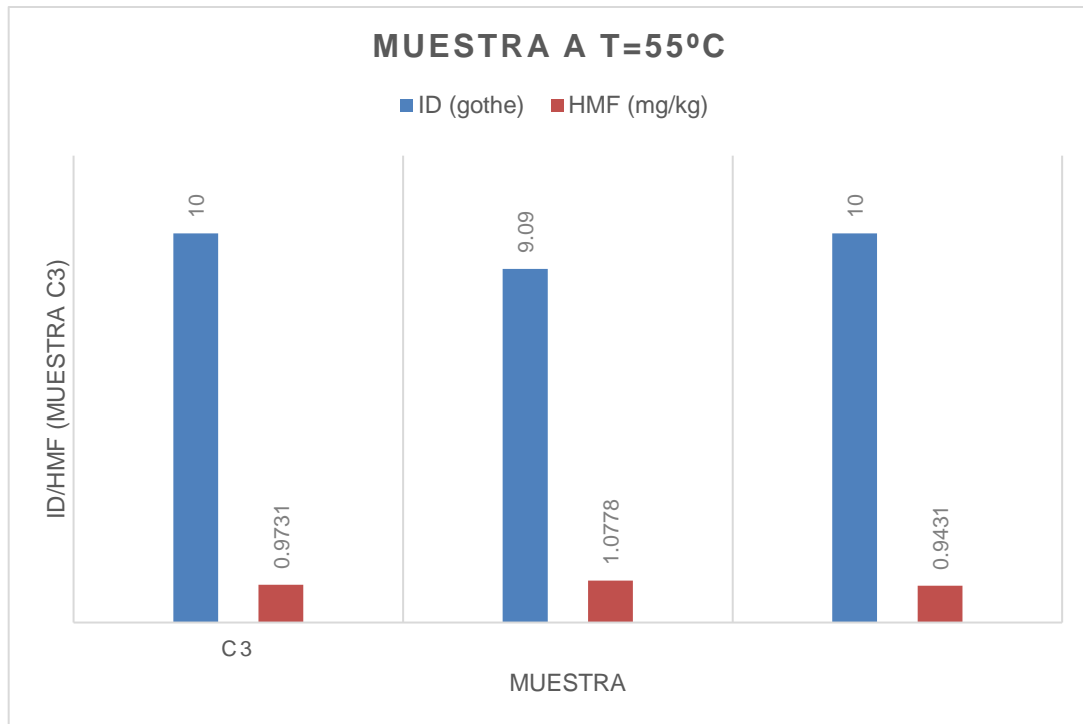
Figura 16. **Resultado obtenido del índice de diastasa e hidroximetilfurfural B3**



Fuente: elaboración propia.

La figura 16 muestra los resultados obtenidos del índice de diastasa (escala de Gothe) e hidroximetilfurfural (mg/kg), para encontrar la tempera óptima en el calentamiento de la miel de abeja: Temperatura ± 5 °C.

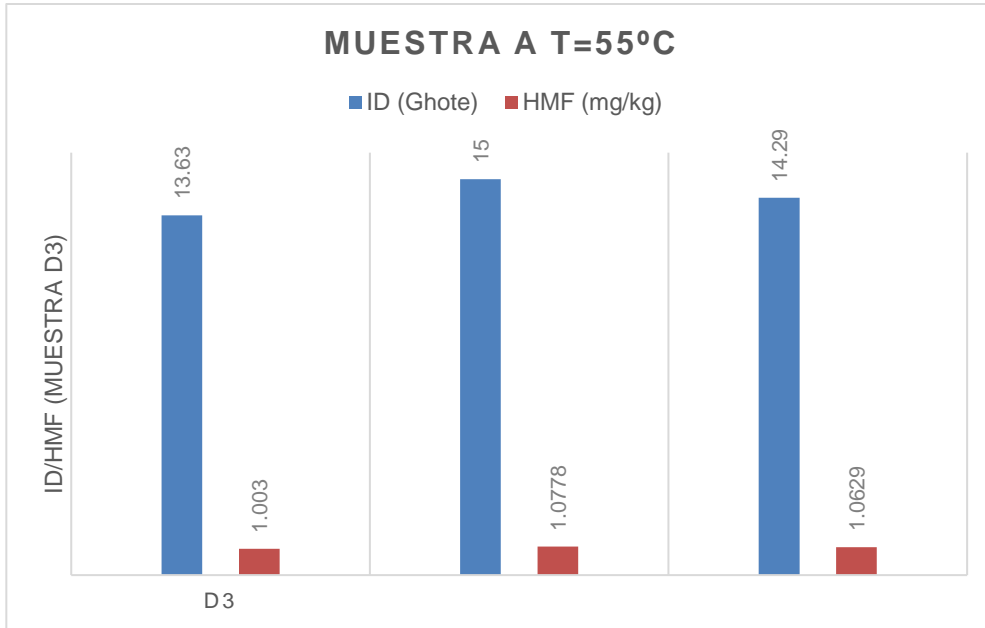
Figura 17. **Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural C3**



Fuente: elaboración propia.

La figura 17 muestra los resultados obtenidos del índice de diastasa (escala de Gothe) e hidroximetilfurfural (mg/kg), para encontrar la tempera óptima en el calentamiento de la miel de abeja: Temperatura ± 5 °C.

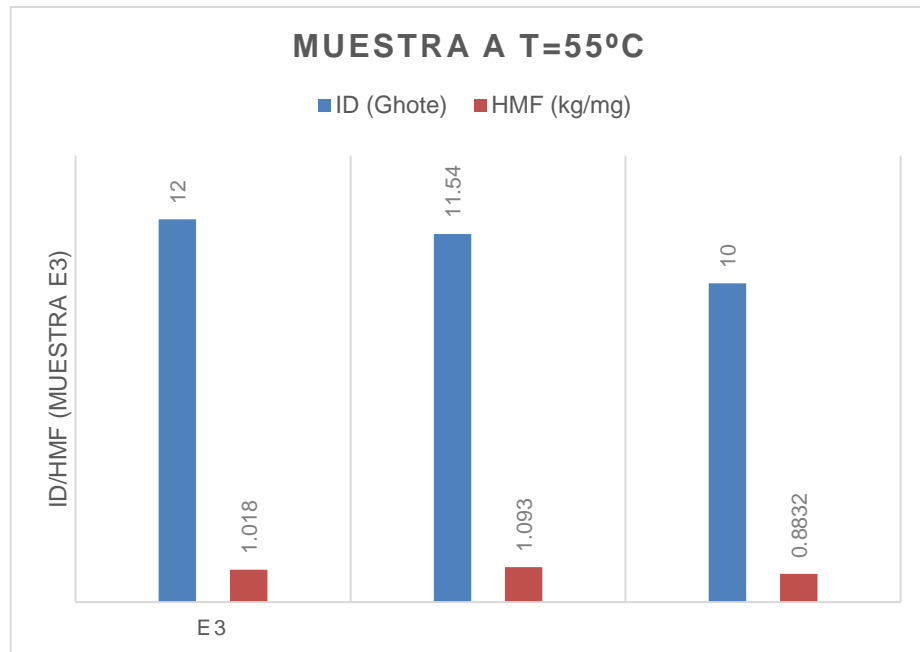
Figura 18. **Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural D3**



Fuente: elaboración propia.

La figura 18 muestra los resultados obtenidos del índice de diastasa (escala de Gothe) e hidroximetilfurfural (mg/kg), para encontrar la temperatura óptima en el calentamiento de la miel de abeja: Temperatura ± 5 °C.

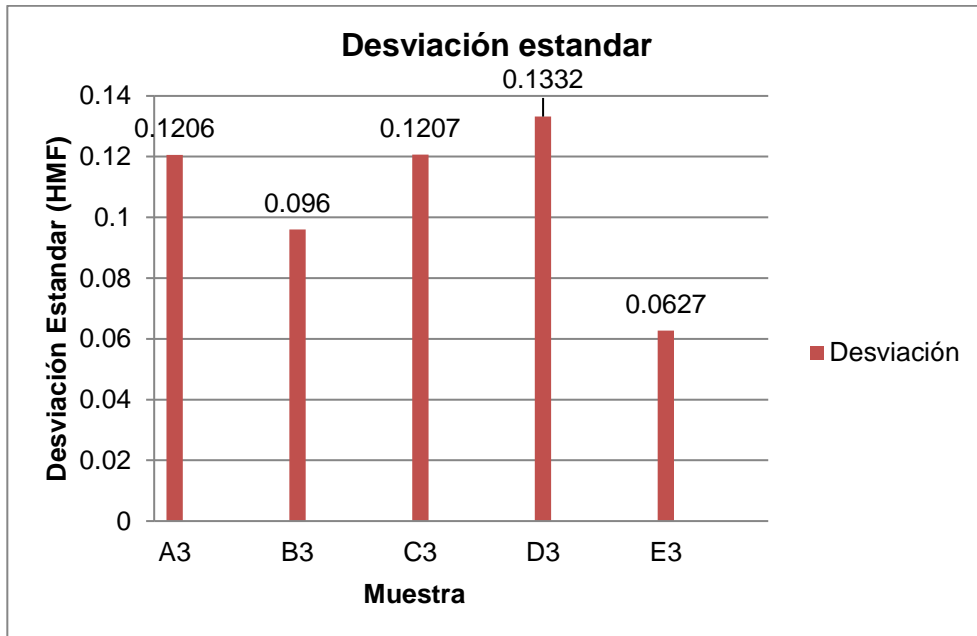
Figura 19. **Resultados obtenidos del índice de diastasa e hidroximetilfurfural E3**



Fuente: elaboración propia.

La figura 19 muestra los resultados obtenidos del índice de diastasa (escala de Gothe) e hidroximetilfurfural (mg/kg), para encontrar la tempera óptima en el calentamiento de la miel de abeja: Temperatura ± 5 °C.

Figura 20. **Desviación estándar del hidroximetilfurfural**



Fuente: elaboración propia.

La figura 20 muestra la desviación estándar del hidroximetilfurfural, para las muestras analizadas con la temperatura óptima $T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para realizar el estudio del efecto que causa el calentamiento de la miel de abeja a temperaturas muy elevadas, se tomaron 10 muestras de mieles las cuales fueron evaluadas a temperaturas distintas y simulando el proceso de calentamiento que los apicultores suelen tener, para que la miel que producen tenga un mayor tiempo de vida con la consistencia que el consumidor y la industria busca para poder comercializar y exportar.

El objetivo principal de los procesos relacionados con la miel es estabilizarla, esto significa que el producto final esté libre de fermentación y que se conserve en el estado físico deseado el mayor tiempo posible. Cada industria somete a la miel que comercializa a una serie de procesos, que casi siempre incluye temperaturas elevadas para poder manejarla de una forma rápida y a bajos costes.

El proceso de pasteurización que utilizan las grandes industrias que comercializan la miel hace que esta se mantenga líquida por más tiempo, que es el estado deseado para la comercialización de la miel en la industria alimenticia y contribuye con la inocuidad del producto. Los principales análisis utilizados para medir el efecto del calentamiento en la calidad de la miel son el índice de diastasa y el hidroximetilfurfural (HMF).

El presente trabajo de investigación determinó cuál es el efecto del calentamiento que sufre la miel, previa a ser envasada, y la temperatura óptima para afectar lo menos posible la calidad de ésta.

Se evaluaron los parámetros de calidad hidroximetilfurfural e índice de diastas, la cantidad bacteriana que tenían las muestras vírgenes, y las mismas muestras al simular el proceso de calentamiento que suele tener la miel en la industria envasadora y también en la cosecha de algunos apicultores.

En las mieles vírgenes los datos que se obtuvieron (tabla n^o.I), fueron aceptables según la norma y demostraron que la miel no tenía un proceso que afectara drásticamente la calidad, aunque si se observan valores en HMF (tabla I, Gráfica 2), lo que podría ser causado por que las muestras no eran de reciente cosecha, y dicho parámetro se muestra cuando la miel tiene un tiempo en conserva, aun así los valores obtenidos están entre los aceptados por la norma CODEX STAN 12-1981, porque no superaban los 40mg/kg, en el índice de diastasa se obtuvieron valores elevados (tabla I, Gráfica 1), lo que confirmó que la miel no tenía un proceso que afectara de una manera drástica la calidad que el apicultor describió, habiendo tenido valores mayores a 8 en escala de Goethe.

Por otra parte, el análisis microbiológico realizado fue el conteo aeróbico y se observaron el crecimiento de colonias formadores de bacterias (tabla I, Gráfica 3), pero esto pudo ser producto de muchas variantes, por las que se pueden mencionar: la forma de tomar la muestra, la limpieza en el apiario, forma de realizar el análisis microbiológico, por el material del frasco de la muestra, entre otros.

En la simulación del proceso de calentamiento a 50 °C, los valores obtenidos (tabla II) siguieron cumpliendo con el parámetro de la calidad según la norma CODEX STAN 12-1981. El índice de diastasa (tabla. II, Gráfica 4), se observó que los datos fueron más bajos que los de las muestras vírgenes, lo que demostró en esta parte que el calentamiento sí influye negativamente en este parámetro cuantitativo, por otra parte, el hidroximetilfurfural (tabla No. II, Gráfica

5), mostró valores más altos, esto pudo ser efecto del tiempo que transcurrió para realizar los análisis y cuando fueron cosechadas fuera aún más prolongado.

Se procedió a investigar si existía e identificar cual es la temperatura óptima para el calentamiento de la miel, sin que se vea afectada la calidad de esta (que siga cumpliendo con la normativa) y que cumpla con la eliminación de microorganismos que se formaron en la miel virgen que se observaron en la tabla I, que pueda ser envasada de manera más eficaz y que el transporte sea menos costoso para la industria que se dedica a la exportación. Se tomó la temperatura del proceso habitual que son los 50 °C con ± 5 °C respectivamente, lo que corresponde a 45 °C y 55 °C. Esto para determinar si existía posibilidad de poder reducir o aumentar la temperatura comúnmente usada.

Al terminar las pruebas con la temperatura a 45 °C, según los datos obtenidos se observa que el índice de diastasa (tabla III, gráfica de la 6-11), se elevó con respecto a las muestras calentadas a 50 °C según la comparación de valores obtenidos, estableciendo esto, conveniente en el estudio, porque comprueba que el efecto de la temperatura si afecta el parámetro fisicoquímico de calidad mencionado y que podría existir una temperatura óptima en el proceso de calentamiento. Los datos obtenidos en el valor del hidroximetilfurfural según tabla III, Gráfica de la 6-11), con el que también se puede determinar si la muestra ha sido conservada por mucho tiempo, se observaron valores muy similares, esto pudo ocurrir o se puede asociar con el tiempo que transcurrió entre las pruebas realizadas, al no haber transcurrido tanto tiempo de haber tenido las muestras de miel estos resultados no mostraron tanta variabilidad con respecto a las pruebas realizadas con la miel virgen.

Utilizando la temperatura de 55 °C siendo esta mayor a la temperatura comúnmente utilizada en el proceso de calentamiento y sobrepasando la

temperatura que la industria envasadora tiene denotada como la máxima y así mismo la más común usado en la apicultura, demostró en los datos obtenidos que el índice de diastasa disminuyó según (tabla IV, Gráfica de la 12-17), con respecto a las muestras calentadas a 50 °C. Los valores determinados de hidroximetilfurfural según la tabla IV, mostraron valores más elevados que en las pruebas hechas como primera parte, pero como ya se mencionó este parámetro mide la vejez de la miel al ser cosechada, así que con esta cuarta prueba se confirma, al ser la temperatura analizada como una últimas prueba y por la crisis que se vivió a nivel mundial que inició en el 2,020 (año en el cual se iniciaron con las pruebas), el tiempo de análisis fue por necesidad más extenso que las primeras pruebas realizadas, por lo que las muestras de miel pasaron más tiempo en el laboratorio analítico.

Según las hipótesis planteadas en la investigación, se determinó que la hipótesis alternativa (H_a), es la aceptada, ya que en los resultados obtenidos se presentaron cambios en la calidad de la miel de abeja durante la manipulación.

En el proceso de calentamiento simulado con las temperaturas de 50 °C, 45 °C y 55 °C, también es aceptada, y en las muestras vírgenes, debido a que, el índice de diastasa disminuyó y el hidroximetilfurfural no supero los 40mg/kg, pero sí se visualizaron cambios de inicio a fin de la investigación.

También se comprobó que existe una temperatura óptima para el adecuado proceso de calentamiento de la miel de abeja a las temperaturas de estudio $T_{\text{óptima}} = 45$ °C, siendo esta temperatura la que cumplió con los parámetros fisicoquímicos y eliminando los parámetros microbiológicos según el conteo bacteriano realizado a las muestras vírgenes y a esta temperatura.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que el efecto del calentamiento en la miel de abeja afecta ambos parámetros de calidad medidos, el de índice de diastasa (ID), tuvo una disminución y el hidroximetilfurfural muestra un incremento según se iba avanzando en las pruebas, el tiempo transcurría, y se comprueba que este último parámetro si es afectado también por el tiempo que se mantiene almacenada una miel y la temperatura ambiente con la que se mantiene.
2. Al determinar el índice de diastasa en la miel de abeja de las muestras vírgenes con respecto a las muestras que fueron sometidas a diferentes temperaturas, se observó que los valores de este tienden a disminuir conforme se aumenta la temperatura de calentamiento.
3. Al determinar el hidroximetilfurfural en la miel de abeja de las muestras vírgenes con respecto a las muestras que fueron sometidas a diferentes temperaturas, se observó que los valores de este tienden a aumentar conforme la miel se iba calentando, además que como se mencionó anteriormente este parámetro también determina la frescura de la miel; por lo que a más tiempo menos frescura y más alto es el valor del HMF.
4. Según la normativa CODEX STAN 12-1981, la miel deberá tener un mínimo de 3 es escala de Goethe, sin embargo, se toma como miel de calidad arriba de 8 y un valor de hidroximetilfurfural no mayo a 40 mg/kg, al determinar los valores de las muestras analizadas vírgenes y las

sometidas a proceso de calentamiento se observó que todas cumplen con la normativa. (Ver anexo 1)

5. Se determinó que el efecto que causa el calentamiento en la calidad de la miel de abeja comparando los valores de HMF e índice de diastasa antes y después del proceso de calentamiento es una disminución en los valores del índice de diastasa y un aumento en el hidroximetilfurfural, cuanto mayor es la temperatura que se aplica, mayor es la formación de HMF, como también el tiempo de exposición al ambiente.
6. La temperatura óptima determinada es la de 45 °C, ya que a esta temperatura la miel cumple con los valores que la norma exige, teniendo un valor medio de 20 (Goethe), y 1.1976 mg/kg en el HMF. Además, de obtener valores microbiológicos de 0 u.f.c con respecto a los resultados obtenidos en las muestras de mieles vírgenes.
7. Comparando los resultados obtenidos en el conteo bacteriano de las muestras de mieles vírgenes con respecto a las obtenidas en las mieles que fueron sometidas a la temperatura determinada como óptima, el proceso de calentamiento de la miel de abeja tiene una eficacia del 100 % ya que eliminó por completo la formación de colonias microbiológicas, obteniendo valores de 0.
8. Para la determinación de las hipótesis planteadas, se determinó que la hipótesis de investigación alternativa es la aceptada al tener cambios en la calidad de la miel de abeja durante el proceso de calentamiento, sí existe una temperatura óptima en el proceso de calentamiento que cumpla con los parámetros microbiológicos y que tenga el menos desgaste de los parámetros de calidad medidos en la investigación.

RECOMENDACIONES

1. Evitar que las muestras de miel de abeja a utilizar no pasen mucho tiempo almacenadas, porque uno de los parámetros fisicoquímicos que se midieron, aparece según transcurre el mismo.
2. Utilizar un equipo de baño maría para realizar de una manera cuidadosa la práctica y simulación del proceso que se maneja en la industria envasadora de miel.
3. Discernir que el color de la miel no es sinónimo de que la muestra haya sido alterada por el apicultor necesariamente, por lo que se recomienda no tomar este parámetro como un parámetro de estudio.
4. Procurar que las muestras a analizar para la determinación de los parámetros de calidad sean de varios apicultores.
5. Recomendar un uso amplio de muestras con el fin de poder llevar a cabo un análisis estadístico con mayor variabilidad y poder obtener un estudio con mayor interpretación de resultados.
6. Empliar un tiempo de uso óptimo en las soluciones utilizadas para los métodos analíticos, ya que algunas de ellas pueden degradarse.

REFERENCIAS

1. Achaval, B. (16 de octubre, 2017). Calidad de miel: humedad, HMF y otros temas [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://beatrizachaval.blogspot.com/2017/10/argentina-inta-calidad-de-miel-humedad.html>
2. Aparicio, A. (2004). *Cadena Agroalimentaria de la Miel de Abeja (Apis mellifera) en México* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México. Recuperado de <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/Unarrow/0013b.pdf>
3. ASSOCIATS, A. -A. (3 de febrero, 2014). Aspecto, propiedades físicas y composición química de la miel [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.aga.cat/index.php/es/articulos/articulos-de-interes/productos/393-aspecto-propiedades-fisicas-y-composicion-quimica-de-la-miel>
4. ASSOCIATS, A. -A. (3 de febrero, 2014). La pasteurización de la miel [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.aga.cat/index.php/es/articulos/articulos-de-interes/metodos-manipulacion/391-la-pasteurizacion-de-la-miel>
5. ASSOCIATS, A.-A. G. (1 de enero, 2022). Envasado [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.aga.cat/index.php/es?catid=0&id=318>

6. Caamal, J. (2009). *Comparación de la calidad de la miel (Apis Mellifera) entre las zonas apícolas de Saltillo, Coahuila y Bolonchen de Rejón, Campeche* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México. Recuperado de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/411/60970s.pdf>

7. Diaz, A., Zuluaga, C. y Quicazán, M. (1 de enero, 2022). Hidroximetilfurfural (HMF) y actividad enzimática [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://168.176.239.58/cursos/ciencias/2018415/und2/index.html>

8. Huidobro, J. y Simal, J. (noviembre, 1984). Parámetros de calidad de la miel. *OFFARM*, 3(11), 705-713. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Simal-Lozano/publication/235700099_Parametros_de_calidad_de_la_miel_V_Indice_de_diastasas/links/00b7d5149854d96254000000/Parametros-de-calidad-de-la-miel-V-Indice-de-diastasas.pdf

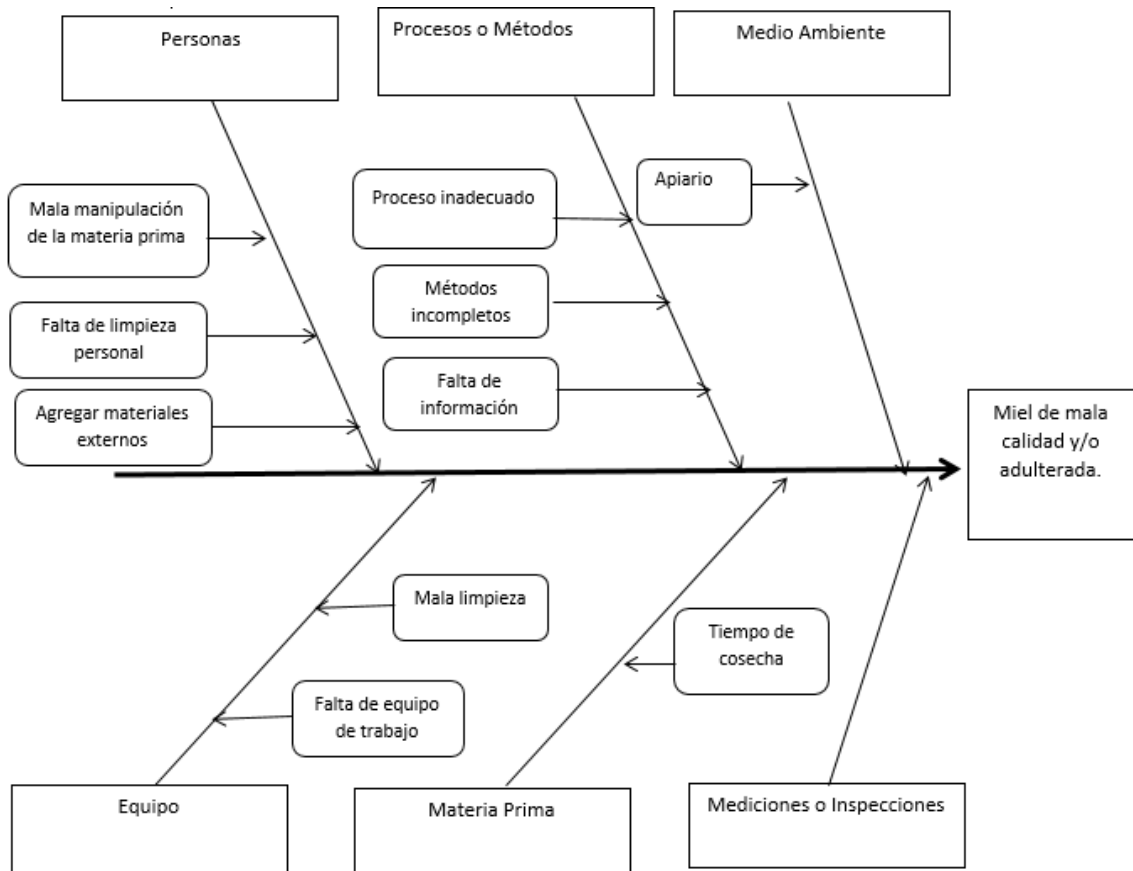
9. Manzano, J. (2022). *Manual de apicultura en sistemas de producción ecológica*. España, Guadalajara: Ecocolmena. Recuperado de <https://www.ecocolmena.org/beneficios-y-propiedades-de-la-miel/>

10. Rodríguez, D., Villar, M., Villar, M., Cobo, S. y Serrano, M. (noviembre, 2014). Determinación de hidroximetilfurfural en mieles como parámetro indicador de la calidad de las mismas. *MOLEQLA, revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (18), 16-18. Reuperado de

https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleq1a/documentos/Numero18/Numero_18.pdf

APENDICES

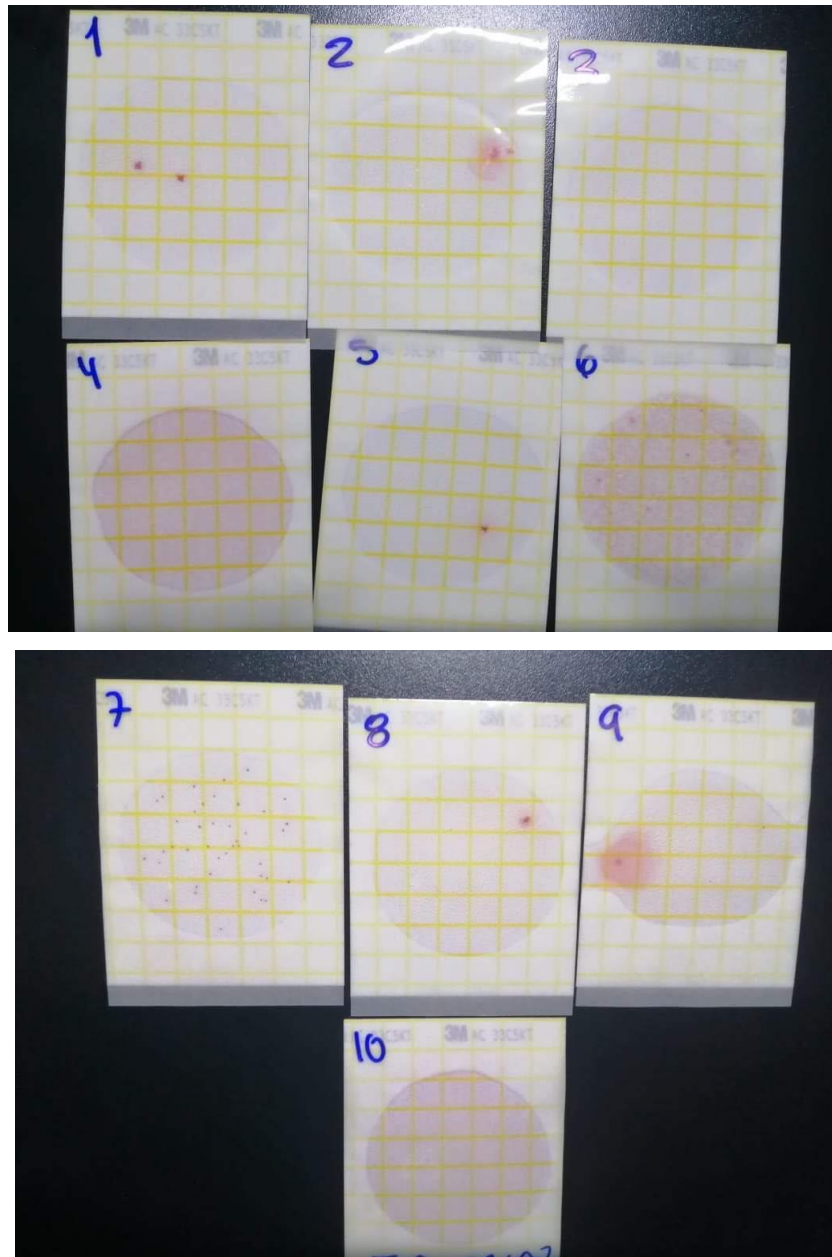
Apéndice 1. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Pruebas ejecutadas

Determinación del conteo bacteriano en las muestras vírgenes



Fuente: [Fotografía de Karol Lissette Esquit Echeverría]. (Guatemala, Guatemala. 2022).

Colección particular. Guatemala.

Apéndice 3. Toma de muestras

Realización de pruebas para analizar el valor del índice de diastasa e hidroximetilfurfural de las muestras de miel.



Fuente: [Fotografía de Karol Lissette Esquit Echeverría]. (Guatemala, Guatemala. 2022).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 4. **Muestras**



Fuente: [Fotografía de Karol Lissette Esquit Echeverría]. (Guatemala, Guatemala. 2022).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 5. **Baño María**



Fuente: [Fotografía de Karol Lissette Esquit Echeverría]. (Guatemala, Guatemala. 2022).
Colección particular. Guatemala.

ANEXO

Anexo 1. Contenido de hidroximetilfurfural

Actividad de la diastasa:	3 como mínimo
Contenido de hidroximetilfurfural	40 mg/kg como máximo

1.3 Contenido de hidroximetilfurfural

El contenido de hidroximetilfurfural de la miel después de su elaboración y/o mezcla no debe ser superior a 40 mg/kg. Sin embargo, en el caso de la miel de origen declarado procedente de países o regiones de temperatura ambiente tropical, así como de las mezclas de estas mieles, el contenido de HMF no deberá exceder de 80 mg/kg.

Fuente: FAO (2019). *Norma para la miel. CXS 12-1981.*