

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Tesis

Determinación de la vida útil de miel crema mediante pruebas aceleradas

Presentado por:

Lourdes Huamani Huamani

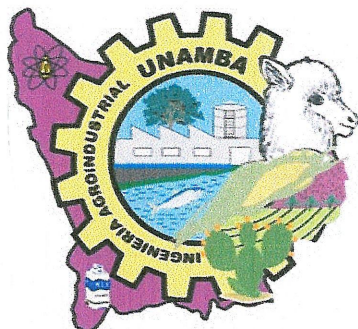
Para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

Determinación de la vida útil de miel crema mediante pruebas aceleradas

Presentado por **Lourdes Huamani Huamani**, para optar el título de: Ingeniero Agroindustrial

Sustentado y aprobado el 4 de diciembre del 2024, ante el jurado evaluador:

Presidente:



Dr. Joffre Huamán Núñez

Primer miembro:



Mag. Alex Ernesto Muñoz Cáceres

Segundo miembro:



Ing. Jorge Mendoza Cáceres

Asesores :



MSc. Victor Hugo Sarmiento Casavilca



Mag. Saúl Moreano Carrasco



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 225-2024

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: **Determinación de la vida útil de miel crema mediante pruebas aceleradas** presentado por la Bach. Lourdes Huamani Huamani, Para optar el Título de **Ingeniero Agroindustrial**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (9%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 22 de noviembre del 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
DE APURIMAC
Dr. Lintol Contreras Salas
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
REG. N° 826

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme la dicha de ver uno de mis grandes sueños hechos realidad y a la vida por brindarme la maravillosa oportunidad de ser parte de esta investigación “Determinación de la vida útil de miel crema mediante pruebas aceleradas” Contrato N° PE501080004-2022-PROCIENCIA, mi especial agradecimiento al Consejo de Ciencias y Tecnología (CONCYTEC) por el financiamiento para el desarrollo de la presente investigación.

Quiero extender mis agradecimientos a mis asesores Ing. M.Sc. Víctor Hugo Sarmiento Casavilca y Mag. Saúl Moreano Carrasco por compartir sus conocimientos, experiencias y paciencia, apoyo en todo el proceso de esta tesis.

De igual modo agradecer a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por ser el alma mater donde culmine mi carrera profesional, a la plana docencia de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial, a la vez agradecer al Ing. Justo Flavio Arias Mota, por su apoyo en el desarrollo de los análisis del presente trabajo de investigación.

A mi madre Marina Huamani Huillcaya y a mi hermano Ruster por su apoyo incondicional.



Dedicatoria

*A **Dios**, por sostenerme cuando lo necesite y por las bendiciones para cumplir cada etapa de este proceso.*

*A mis padres **Marina y Julián**, quien me ha demostrado su apoyo incondicional, amor, paciencia y sacrificio para poder cumplir con esta meta anhelada.*

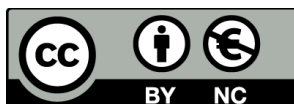
*A mis hermanos **Wilman y Ruster** quienes no dudaron en apoyarme en cada etapa de mi vida.*



Determinación de la vida útil de miel crema mediante pruebas acelerada

Línea de investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación en la agroindustria.

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Justificación de la investigación	5
CAPÍTULO II	7
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	7
2.1 Objetivos de la investigación	7
2.1.1 Objetivo general	7
2.1.2 Objetivos específicos	7
2.2 Hipótesis de la investigación	7
2.2.1 Hipótesis general	7
2.2.2 Hipótesis específicas	8
2.3 Operacionalización de variables	8
CAPÍTULO III	9
MARCO TEÓRICO	9
3.1 Antecedentes	9
3.2 Marco teórico	12
3.2.1 Miel	12
3.2.2 Clasificación de la miel	12
3.2.3 Composición físico químico de la miel	14
3.2.5 Vida útil	19
3.2.5.1 Factores que influyen en la determinación de la vida útil	19
3.2.6 Método acelerado	20
3.2.7 Efecto de la temperatura	20
3.2.7.1 Efecto de la temperatura y tiempo en la miel	21



3.2.8	Punto de corte	21
3.2.9	Cinética química de los alimentos	21
3.2.10	Energía de activación (E_a)	22
3.2.11	Reacción química de orden cero	22
3.2.12	Reacción química de primer orden	23
3.2.12.1	Análisis de regresión	25
3.2.13	Modelo de Arrhenius	25
3.3	Marco conceptual	27
CAPÍTULO IV		29
METODOLOGÍA		29
4.1	Tipo y nivel de investigación	29
4.2	Diseño de la investigación	29
4.2.1	Diseño de la investigación en la variación en el tiempo y temperatura	29
4.2.2	Diseño de investigación para vida útil	29
4.3	Población y muestra	39
4.4	Procedimiento	39
4.4.1	Descripción del Diagrama de flujo de miel crema	40
4.5	Técnicas e instrumentos	41
4.5.1	Determinación de las propiedades fisicoquímicas	41
4.5.2	Instrumentos y materiales	48
4.6	Análisis estadístico	50
CAPÍTULO V		51
RESULTADOS Y DISCUSIONES		51
5.1	Análisis de resultados	51
5.1.1	Análisis preliminares	51
5.1.2	Efectos en las características fisicoquímicas de la miel crema y miel cristalizada a diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento	57
5.3.1	Análisis de parámetros cinéticos de orden de reacción (n) y energía de activación (E_a) de la miel crema	75
5.2	Discusión	91
5.2.1	Discusiones: Determinar los parámetros cinéticos de orden de reacción (n) y energía de activación (E_a) en miel crema, basado en la ecuación de Arrhenius	95
5.2.2	Determinar la vida útil estimada de la miel crema mediante pruebas aceleradas	98
CAPÍTULO VI		100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		100
6.1	Conclusiones	100
6.2	Recomendaciones	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		102
ANEXOS		110



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	8
Tabla 2 — Requisitos de las propiedades de la miel proporcionado por la NTP	14
Tabla 3 — Propiedades extrínsecas e intrínsecas de los alimentos	20
Tabla 4 — Diseño de investigación para variación de las características fisicoquímicos en los tiempos y temperaturas	36
Tabla 5 — Diseño de investigación para la vida útil de miel crema	37
Tabla 6 — Diseño experimental del estudio desarrollado	38
Tabla 7 — Características fisicoquímico de la miel cristalizada	51
Tabla 8 — Características fisicoquímico de la miel crema	52
Tabla 9 — Compuestos detectados en la miel cristalizada	56
Tabla 10 — Estadística de regresión lineal de hidroximetilfurfural, viscosidad y luminosidad para cada temperatura a partir de los datos experimentales versus la temperatura	80
Tabla 11 — Ln de la constante de velocidad versus la temperatura	81
Tabla 12 — Hallando el valor a 20 °C de hidroximetilfurfural	82
Tabla 13 — Resultado de constancia de velocidad de reacción	83
Tabla 14 — Hallando el valor a 20 °C de viscosidad	83
Tabla 15 — Resultado de constancia de velocidad de reacción	84
Tabla 16 — Hallando el valor a 20 °C de color (L*)	85
Tabla 17 — Estimación de vida útil de la miel crema a diferentes temperaturas en función a hidroximetilfurfural a diferentes temperaturas	86
Tabla 18 — Estimación de vida útil de la miel crema a diferentes temperaturas en función a la viscosidad en Pa.s	87
Tabla 19 — Estimación de vida útil de la miel crema a diferentes temperaturas en función a la L*	88
Tabla 20 — Variación de las temperaturas de acidez de la miel crema	111
Tabla 21 — Pruebas de múltiples rangos para acidez por temperatura de la miel crema	111
Tabla 22 — Contraste entre las temperaturas de miel crema	111
Tabla 23 — Prueba de Kolmogorov- Smirnov	111
Tabla 24 — Variación de temperatura en pH de miel crema	112
Tabla 25 — Pruebas de múltiples rangos para pH por temperatura	112
Tabla 26 — Contraste de diferencias significativas entre las temperaturas de miel crema	112
Tabla 27 — Prueba de normalidad para la variable independiente de pH	113
Tabla 28 — Variación de las temperaturas	113
Tabla 29 — Prueba de múltiples	114
Tabla 30 — Contraste de diferencias significativas entre las temperaturas de miel crema	114
Tabla 31 — Prueba de normalidad para la variable de capacidad antioxidante	114

Tabla 32 — Variación en el tiempo de almacenamiento por acidez	115
Tabla 33 — Prueba de múltiples rangos para la acidez por tiempo	116
Tabla 34 — Variación en el tiempo del pH	117
Tabla 35 — Prueba de múltiples rangos para las características fisicoquímico (pH) por el tiempo	118
Tabla 36 — Variación en el tiempo de almacenamiento por la capacidad antioxidante	119
Tabla 37 — Pruebas de múltiples rangos para la capacidad antioxidante por el tiempo	120
Tabla 38 — Variación de acidez por temperatura de miel cristalizada	121
Tabla 39 — Prueba de múltiples rangos para la acidez	121
Tabla 40 — Contraste de las diferentes temperaturas en miel cristalizada	121
Tabla 41 — Prueba de normalidad para acidez en miel cristalizada	122
Tabla 42 — Efecto de Temperatura de pH	122
Tabla 43 — Pruebas de Múltiple Rangos para pH por temperatura	122
Tabla 44 — Contraste de significancia	122
Tabla 45 — Prueba de normalidad para pH en miel cristalizada	123
Tabla 46 — Efecto de capacidad antioxidante por la temperatura de miel cristalizada	124
Tabla 47 — Prueba de múltiples rangos para capacidad antioxidante por temperatura	124
Tabla 48 — Contraste de diferencia	124
Tabla 49 — Prueba de normalidad para datos de capacidad antioxidante en miel cristalizada, prueba de Kolmogorov-Smimov	125
Tabla 50 — Variación en el tiempo de almacenamiento de la acidez de miel cristalizada	126
Tabla 51 — Prueba de múltiples rangos para acidez de miel cristalizada por el tiempo	127
Tabla 52 — Variación en el tiempo de almacenamiento de la pH de miel cristalizada	128
Tabla 53 — Pruebas de múltiples rangos para pH de miel cristalizada por tiempo	129
Tabla 54 — Variación en el tiempo de almacenamiento de la capacidad antioxidante de miel cristalizada	130
Tabla 55 — Prueba de múltiples de capacidad antioxidante por el tiempo	131
Tabla 56 — Resultado de la variación del % de acidez de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)	132
Tabla 57 — Resultado de la variación del pH de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)	132
Tabla 58 — Resultado de la variación de % de inhibición de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)	133
Tabla 59 — Resultado de la variación del % de acidez de miel cristalizada a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)	133
Tabla 60 — Resultado de la variación del pH de miel cristalizada a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)	134
Tabla 61 — Resultado de la variación de % de inhibición de miel cristalizada a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)	134
Tabla 62 — Resultado de la variación de hidroximetilfurfural de miel crema a temperatura (5, 15 y 25 °C) y tiempo de (160, 96 y 16 días)	135
Tabla 63 — Resultado de la variación de ln(hidroximetilfurfural) de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)	135
Tabla 64 — Resultado de la variación de viscosidad (Pa.s) de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)	136



Tabla 65 — Resultado de la variación de viscosidad $\ln(\text{Pa.s})$ de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)	136
Tabla 66 — Resultado de la variación de color (luminosidad) de miel crema a temperatura (5, 15 y 25 °C) y tiempo de (160, 96 y 16 días)	137
Tabla 67 — Resultado de la variación color $\ln(\text{luminosidad})$ de miel crema a temperatura (5, 15 y 25 °C) y tiempo de 160, 96 y 16 días)	137



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Mecanismo de reacción para ensayo ABTS	18
Figura 2 — Determinación de órdenes de reacción	25
Figura 3 — Diagrama de flujo para la obtención de miel crema y acondicionamiento para las pruebas aceleradas	40
Figura 4 — Diagrama para la determinación de vida útil	48
Figura 5 — Espectros FTIR- de miel crema a las temperaturas de 5, 15 y 25 °C y miel cristalizada	54
Figura 6 — Espectro FTIR de la miel cristalizada	55
Figura 7 — Comparación de tamaño de burbujas (A) paleta mezcladora (B) paleta diseñada de doble hélice	57
Figura 8 — Variación de la acidez en las temperaturas 5, 15 y 25 °C en miel crema	58
Figura 9 — Variación del pH en las temperaturas 5, 15 y 25 °C de miel crema	59
Figura 10 — Variación de porcentaje de inhibición en las temperaturas 5, 15 y 25 °C	60
Figura 11 — Variación de acidez en un tiempo de 160	61
Figura 12 — Variación acidez en un tiempo de 96 días	62
Figura 13 — Variación de acidez en un tiempo de 16 días	62
Figura 14 — Variación del pH en el tiempo de 160 días	63
Figura 15 — Variación del pH en un tiempo de 96 días	64
Figura 16 — Variación del pH en un tiempo de 16 días	64
Figura 17 — Variación de porcentaje de inhibición en un tiempo de 160 días	65
Figura 18 — Variación del porcentaje de inhibición en un tiempo de 96 días	65
Figura 19 — Variación de porcentaje de inhibición en función al tiempo de 16 días	66
Figura 20 — Variación de la acidez en temperaturas a las 5, 15 y 25 °C	67
Figura 21 — Variación de pH por temperaturas de 5, 15 y 25 °C	68
Figura 22 — Variación de porcentaje de Inhibición en las temperaturas de 5, 15 y 25 °C	69
Figura 23 — Variación de acidez en un tiempo de 160 días	70
Figura 24 — Variación de la acidez en un tiempo de 96 días	70
Figura 25 — Variación de la acidez en tiempo de 16 días	71
Figura 26 — Variación de pH en función al tiempo de 160 días	72
Figura 27 — Variación de pH en función al tiempo de 96 días	72
Figura 28 — Variación de pH en función al tiempo de 16 días	73
Figura 29 — Variación de porcentaje de inhibición en función del tiempo 160 días	74
Figura 30 — Variación de % de Inhibición en función del tiempo 96 días	74
Figura 31 — Variación de % de Inhibición en función del tiempo 16 días	75
Figura 32 — Evaluación de incremento de incremento (HMF) en la miel crema en almacenamiento de a temperaturas de 5, 15 y 25 °C versus tiempos a 160, 96 y 16 días	76



Figura 33 — Evaluación de incremento de $\ln(\text{HMF})$ en la miel crema en almacenamiento de a temperaturas de 5, 15 y 25 °C, tiempos de 160, 96 y 16 días	77
Figura 34 — Evaluación de incremento de viscosidad en la miel crema en almacenamiento de a temperaturas de 5, 15 y 25 °C versus tiempos de 160, 96 y 16 días	78
Figura 35 — Evaluación de incremento de $\ln(\text{Pa.s})$ viscosidad en la miel crema en almacenamiento de a temperaturas de 5, 15 y 25 °C, tiempos de 160, 96 y 16 días	78
Figura 36 — Degradación de L^* (luminosidad) en la miel crema a temperaturas de 5, 15 y 25 °C y tiempos de 160, 96 y 16 días	79
Figura 37 — Degradación de $\ln(L^*)$ en la miel crema a temperaturas de 5, 15 y 25 °C y tiempos de 160, 96 y 16 días	79
Figura 38 — $\ln(K)$ en función de la inversa de la temperatura °K	82
Figura 39 — $\ln(k)$ en función de la inversa a la temperatura para la viscosidad	83
Figura 40 — Logaritmo natural de k en función de la inversa a la temperatura para la luminosidad (L^*)	85
Figura 41 — Gráfico de cajas y bigotes de miel crema	111
Figura 42 — Grafica de distribución normal	112
Figura 43 — Gráfico de cajas y bigotes	113
Figura 44 — Grafica de distribución normal	113
Figura 45 — Gráfico de cajas y bigotes	114
Figura 46 — Grafica de distribución normal	115
Figura 47 — Gráfico de medias, cajas y bigotes	116
Figura 48 — Graficas de medias	118
Figura 49 — Gráfico de medias	120
Figura 50 — Gráficos de cajas y bigotes	121
Figura 51 — Grafica de distribución normal	122
Figura 52 — Gráfico de cajas y bigotes	123
Figura 53 — Grafica de distribución	123
Figura 54 — Gráficos de cajas y bigotes	124
Figura 55 — Grafica de distribución	125
Figura 56 — Gráficos de cajas y bigotes	127
Figura 57 — Grafica de cajas y bigotes	129
Figura 58 — Gráfico de medias	131
Figura 59 — Flujograma para determinación de las características fisicoquímicas de miel crema	138
Figura 60 — Flujograma para determinación de las características fisicoquímicas de miel cristalizada	139
Figura 61 — Paleta mezcladora	140
Figura 62 — Paleta diseñada doble hélice	140
Figura 63 — Análisis de color (luminosidad) de miel	141
Figura 64 — Determinación de Hidroximetilfurfural (HMF)	141
Figura 65 — Análisis del espectro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)	142
Figura 66 — Determinación de grasa por Soxhlet	142
Figura 67 — Batidora industrial	143
Figura 68 — Batido de miel crema	143
Figura 69 — Determinación de la viscosidad	144
Figura 70 — Determinación de la humedad	144

Figura 71 — Miel cristalizada	145
Figura 72 — Miel crema	145
Figura 73 — Miel crema envasada para la determinación de vida útil	146
Figura 74 — Almacenamiento de miel crema y miel cristalizada a una temperatura de 5 °C	146
Figura 75 — Almacenamiento de miel crema y miel cristalizada a una temperatura de 15 °C	147
Figura 76 — Almacenamiento de miel crema y miel cristalizada a una temperatura de 25 °C	147
Figura 77 — Resultados de HPLC de la fructosa en miel crema	148
Figura 78 — Resultados de HPLC de glucosa en miel crema	149



INTRODUCCIÓN

El estudio de la vida útil de los alimentos permite predecir su duración, manteniendo sus características fisicoquímicas y garantizando su inocuidad. Esta técnica se basa en la realización de pruebas, entre ellas las de tipo aceleradas, que facilitan la evaluación de cómo los factores externos o ambientales afectan la calidad de los alimentos durante el almacenamiento, acortando significativamente el tiempo necesario para llevar a cabo estas evaluaciones.

Actualmente, la miel de abeja y sus derivados apícolas presentan una deficiencia a nivel comercial, ya que carecen de claridad en sus envases en cuanto a las fechas de vencimiento. Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo realizar un estudio de la vida útil de un derivado apícola conocido como “miel crema”. Este producto alimenticio natural no solo destaca por sus propiedades nutraceuticas, sino que también tiene el potencial de incrementar y masificar el consumo de miel de abeja y sus derivados en la región de Apurímac. Además, se busca aprovechar las valiosas propiedades saludables que ofrece, gracias a la presencia de ingredientes bioactivos como antioxidantes, propiedades antimicrobianas y su acción antiinflamatoria (SCEPANKOVA et al., 2017).

El objetivo de esta investigación es determinar la vida útil de la miel crema mediante pruebas aceleradas, utilizando como variables independientes la temperatura de almacenamiento (5, 15 y 25 °C) y un período de almacenamiento de hasta 160 días. Se analizaron como variables dependientes la viscosidad, la presencia de hidroximetilfurfural (HMF) y la luminosidad (L^*) del producto, que sirven como indicadores para establecer las cinéticas de deterioro y el orden de reacción (ya sea de orden cero o de orden uno). A partir de estos análisis, se busca predecir la vida útil utilizando la ecuación de Arrhenius. Adicionalmente, se llevaron a cabo análisis fisicoquímicos del producto para evaluar el efecto de la temperatura en sus características, y se monitorearon a lo largo del tiempo la acidez, el pH y el porcentaje de inhibición del producto.



RESUMEN

Frente al bajo consumo per cápita de miel de abeja, es necesario diversificar la oferta de productos a los consumidores. Para que un derivado apícola ingrese al mercado, debe cumplir con características de inocuidad y tener un tiempo de vida determinado en el cual el producto cumpla con las características que satisfagan al consumidor; por tanto la presente investigación tuvo como objetivo general determinar el efecto a las diferentes temperaturas 5, 15 y 25 °C y tiempos 160, 96 y 16 días de almacenamiento en las características fisicoquímicas (miel crema y miel cristalizada), determinando los parámetros cinéticos de orden de reacción y energía de activación; predecir la vida útil de miel crema mediante pruebas aceleradas proveniente del distrito de Circa – Abancay, adicionalmente se realizó una caracterización de las propiedades físico químicas de la materia prima como también se evaluó en efecto de la acidez, pH y capacidad antioxidante en el tiempo de almacenamiento, donde se ha demostrado que existe una acción significativa del efecto del tiempo sobre estas propiedades, para ello se envasaron miel crema en envases de vidrio y se le aplicaron distintas condiciones de almacenamiento y tiempos a fin de obtener cinéticas y el orden de reacción de variables como el hidroximetilfurfural (HMF), viscosidad y luminosidad.

Se determinó que las variables hidroximetilfurfural (HMF) y viscosidad presentaron una reacción de orden cero ($n=0$), la variable luminosidad (L^*) presentó una reacción de primer orden ($n=1$), determinada por la ecuación de Arrhenius se encontró que la vida útil del producto denominado miel crema es de 10 meses almacenado en condiciones refrigeradas a 5 °C.

Palabras clave: Miel crema, pruebas aceleradas, reacción química y vida útil.



ABSTRACT

In view of the low per capita consumption of honey, there is a need to diversify the supply of products for consumers. For a bee product to enter the market, it must meet safety characteristics and have a specified shelf life in which the product meets characteristics that satisfy the consumer; therefore the general objective of this research was to determine the effect at different temperatures 5, 15 and 25 °C and storage times 160, 96 and 16 days on the physicochemical characteristics (cream honey and crystallized honey), determining the reaction order kinetic parameters and activation energy; predicting the shelf life of cream honey by accelerated tests from Circa - Abancay district, additionally a characterization of the physical chemical properties of the raw material was carried out, as well as an evaluation of the effect of acidity, pH and antioxidant capacity in storage time, where it has been shown that there is a significant time effect on these properties, For this purpose, cream honey was packaged in glass containers and different storage conditions and times were applied to obtain kinetics and the reaction order of variables such as hydroxymethylfurfural (HMF), viscosity and luminosity.

The hydroxymethylfurfural (HMF) and viscosity variables presented a zero-order reaction ($n=0$), the luminosity variable (L^*) presented a first-order reaction ($n=1$), determined by the Arrhenius equation it was found that the shelf life of the product called cream honey is 10 months stored in refrigerated conditions at 5 °C.

Keywords: *Honey cream, accelerated testing, chemical reaction and shelf life.*



CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En la región de Apurímac en los últimos años la producción de miel de abeja se ha incrementado, según (MINAGRI, 2015) Apurímac cuenta con 15,614 colmenas esto representa aproximadamente el 7 % de la producción total de miel en el país. El consumo per cápita en el Perú es de 40 g de la miel (MINAGRI, 2015); este consumo es mínimo en comparación con otros países de latinoamérica, debido al limitado conocimiento de sus propiedades nutricionales, pro salud y en la baja aplicación de nuevas tecnologías en la industria apícola que ofrece diversos derivados apícolas al mercado.

La problemática más común que se visualiza en la industria de la miel y sus derivados es la carencia de estudios sobre vida útil, siendo un periodo de tiempo donde el alimento conserva sus características fisicoquímicas, donde el consumidor los acepte el alimento y sobre todo garanticen su inocuidad. Sin este requisito es difícil su crecimiento comercial ya que la legislación peruana solicita que cuente con estos estudios para poder etiquetar los productos.

Adicionalmente el escaso valor agregado que se le da a la miel de abeja para obtener derivados apícolas, la miel presenta otra problemática en su comercialización que es el proceso de la cristalización, siendo un proceso natural hace que la miel se endurezca en pocas semanas después de realizarse la cosecha, este efecto representa una dificultad para el apicultor y ellos someten a un proceso de calentamiento (sin control de parámetros de tiempos y temperatura) de su miel cristalizada para obtener una miel fluida y poderla a comercializar, esta práctica es bastante perjudicial para las propiedades nutricionales y pro salud que presenta la miel, convirtiéndola en un producto solamente edulcorante y sin propiedades benéficas, retrayendo así el mercado de la miel.



La miel crema es un derivado apícola y se propone como una alternativa de consumo de la miel de abeja, este producto por ser manufacturada a base de miel es resistente a las bacterias y microorganismos debido a su alto contenido de azúcar y baja actividad de agua, pero aun así sus propiedades físicas se deterioran con el tiempo; los factores que afectan la vida útil de este derivado apícola son la temperatura de almacenamiento, la luz, la humedad y la calidad de las condiciones de procesamiento y envasado. Por esa razón es importante determinar en forma técnica su vida útil, para poder así ofrecerlos en el mercado sin problemas de inocuidad.

Por tal motivo, en esta investigación se propone evaluar las condiciones de almacenamiento mediante pruebas aceleradas, para predecir la vida útil de la miel crema aplicando modelos matemáticos existentes.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál será el efecto a las diferentes temperaturas 5, 15 y 25 °C y tiempos 160, 96 y 16 días de almacenamiento en las características fisicoquímicas (miel cristalizada y miel crema), determinado los parámetros cinéticos de orden de reacción y energía de activación; predecir la vida útil de miel crema mediante pruebas aceleradas proveniente del distrito de Circa - Abancay?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles serán los efectos a las temperaturas 5, 15 y 25 °C y tiempos 160, 96 y 16 días de almacenamiento de la miel crema y miel cristalizada en las características fisicoquímicas proveniente del distrito de Circa - Abancay?
- ¿Cuáles serán los parámetros cinéticos de orden de reacción (n) y energía de activación (E_a) en la vida útil de miel crema proveniente del distrito de Circa - Abancay?
- ¿Cuál será la vida útil de la miel crema calculada mediante pruebas aceleradas proveniente del distrito de Circa - Abancay?

1.3 Justificación de la investigación

La región de Apurímac se encuentra en el quinto lugar de producción a nivel nacional de miel de abeja, los apicultores se caracterizan por que en su mayoría poseen un perfil



con escasa formación técnica y profesional, lo que con lleva a que no se apliquen nuevas tecnologías de procesamiento para diversificar la oferta de derivados apícolas.

Según SCEPANKOVA et al., (2017) la miel de abeja tiene propiedades terapéuticas, antioxidantes, antimicrobianas y actividad antiinflamatoria, que protege y ayuda al fortalecimiento del organismo humano. Del mismo modo ULLAH et al. (2017) señala que, el consumo de la miel de abeja es bueno para contrarrestar la sintomatología de enfermedades como la tuberculosis, el tétanos, la gripe y la hepatitis.

Teniendo en cuenta el efecto del proceso de cristalización de la miel de abeja y su efecto negativo de esto en su comercialización, se ha propuesto un procedimiento productivo para obtener un derivado apícola denominado miel crema, sin que esta pierda sus propiedades nutraceuticas, ya que este derivado es procesado a base de miel cristalizada. Habiéndose ya logrado establecer los parámetros adecuados para su producción de la miel crema en estudios previos, es necesario complementar un estudio de la vida útil de este nuevo producto, así pueda ingresar al mercado como una nueva alternativa de un derivado apícola. Este estudio brinda información de gran importancia y las condiciones de un adecuado almacenamiento y caracterizaciones sobre la miel crema, donde se resalta que la miel crema no pierde sus propiedades nutraceuticas que se le atribuyen y que, de procesársele adecuadamente estos parámetros permanecerán en el producto (HAMDAN, 2010).

La finalidad de la presente investigación es ofrecer a los apicultores de la región una alternativa viable con el fin de comercialización. Se pretende incorporar un valor agregado a este producto innovador, para aumentar su competitividad y atractivo en el mercado y establecer su vida útil, de manera que pueda ser envasado y etiquetado conforme a la legislación peruana. Esta iniciativa no solo beneficiará a los productores apícolas, sino que también proporcionará información a los consumidores un producto inocuo y con propiedades saludables. Además, se pretende fomentar la seguridad del consumidor y promover el desarrollo de la agroindustria apícola como modelo de negocio y emprendimiento en la región de Apurímac.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar el efecto a las diferentes temperaturas 5, 15 y 25 °C y tiempos 160, 96 y 16 días de almacenamiento en las características fisicoquímicas (miel crema y miel cristalizada), determinando los parámetros cinéticos de orden de reacción y energía de activación; predecir la vida útil de miel crema mediante pruebas aceleradas proveniente del distrito de Circa – Abancay.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar los efectos de las temperaturas 5, 15 y 25 °C y tiempos 160, 96 y 16 días de almacenamiento de la miel crema y miel cristalizada en las características fisicoquímicas proveniente del distrito de Circa - Abancay.
- Determinar los parámetros cinéticos de orden de reacción (n) y energía de activación (Ea) en la vida útil de miel crema proveniente del distrito de Circa - Abancay.
- Determinar la vida útil de la miel crema calculada mediante pruebas aceleradas proveniente del distrito de Circa - Abancay.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

Las diferentes temperaturas 5, 15 y 25 °C y tiempos 160, 96 y 16 días de almacenamiento influyen significativamente en las características fisicoquímicas y predecir la vida útil mediante pruebas aceleradas proveniente del distrito de Circa - Abancay.



2.2.2 Hipótesis específicas

- Los parámetros temperatura y tiempo influyen significativamente en las características fisicoquímicas en la miel crema y miel cristalizada, proveniente del distrito de Circa - Abancay.

2.3 Operacionalización de variables

En la siguiente Tabla 1. Se detalla la operacionalización de las variables de la presente investigación.

Tabla 1 — Operacionalización de variables

VARIABLE	INDICADOR	ÍNDICE
VARIABLE INDEPENDIENTE		
Temperatura de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • 5 • 15 • 25 	<ul style="list-style-type: none"> • °C • °C • °C
Tiempo de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • 160 • 96 • 16 	<ul style="list-style-type: none"> • Días • Días • Días
VARIABLE DEPENDIENTE		
Características fisicoquímicas	<ul style="list-style-type: none"> • Acidez • pH • Capacidad Antioxidante 	<ul style="list-style-type: none"> • meq/Kg • 1-14 • % de Inhibición
Parámetros cinéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Energía de activación • Orden de reacción 	<ul style="list-style-type: none"> • Kcal/mol • Adimensional
Vida útil	<ul style="list-style-type: none"> • Hidroximetilfurfural • Viscosidad • Color 	<ul style="list-style-type: none"> • mg/l de HMF • Pa.s • L*
NOTA		
L* (Luminosidad) donde, se mide la cercanía al color blanco (100) y el color negro es la cercanía (0)		

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

- a) RABABAH et al. (2024) realizaron una investigación titulada “Efecto de la temperatura y el tiempo sobre las propiedades fisicoquímicas y propiedades sensoriales de la miel cristalizada”, donde evaluaron el tratamiento térmico a una temperatura de 45 °C a 90 °C en un tiempo de 45 a 960 min. Se midió los valores de humedad, pH, acidez, color, viscosidad y hidroximetilfurfural (HMF). Se obtuvo los siguientes resultados: el incremento de acidez e hidroximetilfurfural a mayor temperatura; en el color presentó variaciones mientras tanto, la viscosidad disminuyó a temperaturas elevadas.
- b) GRUZNOV et al. (2024) en su investigación titulada “Efecto del almacenamiento a bajas temperaturas en la composición química y la actividad antimicrobiana de la miel”, tuvo como objetivo estudiar los efectos en las temperaturas de 18, 10, 5, 0, -5, -10 y -18 °C en un tiempo de 12 meses de almacenamiento. Se obtuvieron los siguientes resultados: a temperaturas bajo 0 no hubo variación, mientras tanto en las temperaturas de 10 °C y 18 °C se observó un cambio de hidroximetilfurfural (HMF) y una ligera variación en la acidez.
- c) En la investigación RAWEH et al., (2022) señaló, en su investigación titulada “Efecto de los distintos regímenes de almacenamiento sobre los niveles de las características fisicoquímicas, especialmente la acidez libre, en la miel de Talh (*Acacia gerrardii* Benth)”, tuvo como objetivo el estudio de impacto en las condiciones de almacenamiento fundamentalmente de la acidez en las temperaturas (0, 25, 35, 45 °C), se analizaron en un tiempo de ocho meses la acidez fue mayor $93 \pm 0,3$ meq/Kg a ≤ 50 meq/Kg, mientras tanto se mantuvo a 0 °C $103 \pm 0,2$ meq/Kg mientras a los 25 °C. Se observó un aumento significativo. El hidroximetilfurfural (HMF), la actividad de la diastasa (DN) y los azúcares reductores (RS) mostraron



niveles normales solo a 0 °C y 25 °C. Se llegó a la conclusión que el almacenamiento de miel a bajas temperaturas (0 y 25 °C) durante hasta ocho meses presentó la menor cantidad de cambios en la miel, y la miel no varió con respecto a su estado fresco.

- d) En la investigación de FRIGERIO (2010) titulado “Elaboración de miel crema (*Apis mellifera*) mediante el método cristalización inducida, y evaluación de sus propiedades texturales” la miel crema se almacena en 5 °C en un tiempo de 10 meses en envases de polietileno de alta densidad, se analizó sus características físicas y químicas humedad, acidez, pH, ceniza, hidroximetilfurfural (HMF) y color. tanto de la materia prima como de la miel crema, el autor evidenció en un tiempo total de diez meses un aumento significativo de la concentración de hidroximetilfurfural hasta un valor de 4,26 mg/Kg; mientras que el color disminuyó en su luminosidad de 65,20 a 57,00.
- e) En la investigación de tesis de ANCAJICA (2020) titulada “Estimación del tiempo de vida útil de algarrobina en empaque de vidrio, empleando pruebas aceleradas”, el autor estimó el factor de descomposición de la calidad; para ello hizo pruebas en temperaturas de almacenamiento de 30, 40 y 50 °C, y utilizó envases de vidrio en un tiempo máximo de 120 días. En diseño experimental planteado fueron analizadas mediante un análisis ANOVA (análisis de varianza) completamente aleatorizado de 3*9, teniendo como factores la temperatura (tres niveles) y el tiempo (nueve niveles). De este estudio, se determinó que la textura para este producto fue el atributo que más se degrada, presentando una cinética de reacción de orden uno; por medio de la ecuación de Arrhenius, le permitieron calcular la energía de activación (Ea), la cual resultó ser de 15,625 kcal/mol.
- f) En la investigación de KORKMAZ y KÜPLÜLÜ, (2017) el autor pretende revelar los efectos de diferentes temperaturas de almacenamiento de miel en las cantidades generadas de hidroximetilfurfural (HMF) en temperaturas de ensayos de 10, 22 y 35 °C, obteniendo el resultado con una superioridad a los 40 meq/Kg a partir de los seis meses de almacenamiento.
- g) En otra investigación de MOSQUERA (2015) titulada “Evaluación de indicadores de deterioro de miel de diferentes especies de abeja” los autores indican en el presente



trabajo de investigación evaluaron las condiciones de almacenamiento bajo condiciones aceleradas de la degradación de la miel de abeja en dos tipos de miel y en tres temperaturas: 30, 40 y 50 °C, se monitoreo las características fisicoquímicas y sensoriales. Se monitorearon las variables acidez, hidroximetilfurfural (HMF) y color, que tuvieron mayor importancia durante el almacenamiento de miel de *Apis mellifera*, mientras que acidez, hidroximetilfurfural (HMF), color y diastasa predominaron en la miel de *T. angustula*. En cada caso se hallaron los modelos cinéticos para describir la pérdida de la calidad y mediante la ecuación de Arrhenius, se demostró que los dos tipos de miel difieren apreciablemente en las energías de activación para el deterioro de cada una de las propiedades.

- h) En la presente investigación se encontró a GARCIA et al. (2007), con el título “Optimización del proceso de elaboración de la miel de abeja cremada”, quienes en su investigación desarrollada en Nicaragua busco caracterizar la materia prima, para realizar la miel cremada, el objetivo principal es investigación fue establecer los parámetros del proceso para la elaboración de miel de abeja en el cual también se realizó una prueba sensorial con 20 panelistas la finalidad con el fin de saber si tiene aceptabilidad. Obteniendo con las siguientes características fisicoquímicas humedad de 17,3 %, °Brix de 81, pH de 4,5, acidez de 33,7 meq/Kg de ácido glucónico y una viscosidad de 156,7 poise presentó un color crema similar a la leche condensada un olor y sabor característico a la miel de abeja.
- i) Un estudio realizado por VISQUERT (2015) con el título de “Influencia de las condiciones almacenadas en la calidad de la miel”, el objetivo fue evaluar las variaciones de tiempo y temperatura, se realizó un estudio de los parámetros de hidroximetilfurfural, color, actividad enzimática, humedad y acidez. Los resultados mostraron que el hidroximetilfurfural es un indicador de la calidad de la miel. Llego a una conclusión de consumir antes de los 18 meses.



3.2 Marco teórico

3.2.1 Miel

La miel es una sustancia dulce natural producida por las abejas a partir del néctar de las flores o de las secreciones procedentes de las partes vivas de las plantas, las abejas posteriormente pasan a transformar combinándolas con sustancias específicas propias, finalmente almacenan y dejan madurar en los paneles de la colmena (BOGDANOV y MARTIN, 2002). Por otra parte, NTP 209.168 (2014) indica que, la miel contiene varios tipos de azúcares, el cual predomina la glucosa y fructosa, se puede encontrar en distintas consistencias; fluido, viscosa y cristalizada, su aroma y sabor dependen de su alimentación.

La miel tiene varios beneficios por las que COOPER et al. (2001) indica que la miel es muy buena para la salud, contiene propiedades antiinflamatorias, por otro lado (MAMARY et al., 2002) hace referencia que es un antibacteriano y antifúngico.

Los azúcares que se encuentran en mayor cantidad en la miel son los monosacáridos (fructosa y glucosa), estas pueden contribuir a la mayor parte de los nutrientes y efectos físicos de la miel (MANYI et al., 2011).

3.2.2 Clasificación de la miel

A. Según su origen

Las NTP 209.168, (2014) señala:

- **Miel de flores o néctar:** Su alimentación o procedencia son de los néctares de las flores.
- **Miel de mielada:** Principalmente la miel mielada procede de secreciones de plantas o insectos succionadores de plantas que dejan sobre las partes vivas su color tiene una variación de pardo a pardo oscuro.

B. Según su método de elaboración

De acuerdo con las normas técnicas peruanas NTP 209.168 (2014):

- **Miel centrifugada:** Como su nombre mismo lo indica, se obtiene mediante una centrifugación de los panales sin las larvas.



- **Miel prensada:** Se prensa los panales sin lavas lo cual se puede realizar con o sin temperatura.
- **Miel escurrida:** Se ejecuta mediante el drenaje de los panales desoperculados y sin larva.

C. Según su presentación

Según las normas técnicas peruanas se presentan de la siguiente manera (NTP 209.168, 2014).

- **Miel:** Es la que se encuentra en su forma natural líquida o cristalizada .
- **Miel en panal:** Es la miel almacenada por las mismas abejas en celdas operculadas, que no contengan larvas y por lo tanto son comercializados en panales enteros o secciones de panales.
- **Miel en trozos:** Es la miel que contiene trozos de panales con miel.
- **Miel cristalizada o granulada:** Es un proceso natural de solidificación por ende pasa a una fase de cristalización de la glucosa.

Al momento de la cosecha los apicultores cosecha en su forma natural líquida estas son almacenadas por las abejas, al pasar los días o semanas muchas mieles suelen cristalizarse esto al tratarse de una solución sobresaturada de azúcares. Por lo tanto, la cristalización hace que el producto sea menos atractivo hacia al consumidor (CONFORTI et al., 2006). Por su parte KURTA et al. (2020) afirma, que la miel cristalizada es menos atractiva para el consumidor, la velocidad de la formación de los cristales es dependiente de la temperatura, también afirma que el almacenamiento a bajas temperaturas (18 °C), conduce a la formación de pequeños cristales.

La cristalización es un problema que afecta la calidad de almacenamiento, al momento del proceso de formación de cristales, la parte no cristalizada contendrá más humedad lo cual lo hace vulnerable el crecimiento de levaduras (HAMDAN, 2010).

- **Miel cremosa (o montada):** Tiene una estructura de cristales finos y que puede haber sido sometido a un proceso físico que le confiere a esa estructura y que sea fácil de untar.



- **Miel crema**

“Tiene una estructura de cristales finos y que puede haber sido sometido a un proceso físico que le confiere a esa estructura y que sea fácil de untar” (NTP 209.168, 2014).

La miel crema ofrece un producto innovador, con un considerable potencial, al cual dar un valor agregado como la miel cremosa ofrece a los apicultores una salida más rentable para la miel (CALDERONE, 2006).

3.2.3 Composición físico químico de la miel

Según CAMPO e HINCAPIÉ (2022), la miel es el resultado de las interacciones de varios factores, la ubicación geográfica, la alimentación de las abejas, la zona geografía, el procesamiento y las condiciones de almacenamiento. De igual manera PINEDA et al. (2019) afirman que, la calidad de la miel de abeja está estrechamente relacionada con las características fisicoquímicas, las cuales presentan variaciones significativas en función de factores múltiples, lo que requiere un análisis.

A. Requisitos fisicoquímicos para la miel de abeja

En la Tabla 2 se observa los límites permitidos de las propiedades fisicoquímicas de la miel de abeja proporcionado por la NTP.

Tabla 2— Requisitos de las propiedades de la miel proporcionado por la NTP

Características	Límites aceptables
Humedad (%)	21-23
Contenido de sacarosa (%)	5-15
Cenizas (%)	0.6-1.0
Acidez (meq /Kg)	40
Hidroximetilfurfural (mg/Kg)	80
Azucares reductores (%)	53-65
Contenido de sólidos en agua (%)	0.1-0.5
Sólidos solubles (°Brix)	76
FUENTE: NTP 209.168 (2014)	

a. Potencial de iones hidrógeno (pH)

La miel de abeja tiene el pH muy variado, esto se debe a las diferentes fuentes de néctar que las abejas pueden encontrar a sus alrededores, de un pH desde 3,5 a 4,5 que la califica de carácter ácida en donde los ácidos se encargan de asignarle estos intervalos de valores en consecuencia, de su estabilidad (GARCÍA et al., 2022). Sin embargo MOYANO et al. (2023) indican que, los valores promedio del pH en la miel entre comprendido entre 3,0 a 4,5 pH, debido a la presencia de ácidos orgánicos.

En el estudio de la vida útil, si el pH cambia eso quiere decir que hay presencia de patógenos lo cual indica la inocuidad del producto alimenticio está en riesgo, lo cual es importante medir y tener un control del pH (FERNÁNDEZ y GARCÍA, 2010).

b. Acidez total

El contenido de la acidez de la miel no tiene que exceder de los 50 meq/Kg (CODEX ALIMENTARIUS, 2022). Sin embargo, la NTP 209.168 (2014) nos indica, como límite máximo que, el nivel de acidez no debe superar a los 40 meq/Kg.

Asimismo, MOYANO et al. (2023) señala que la acidez no debe exceder de los 40 meq/Kg y asegura que en las mieles fermentadas la acidez suele ser más elevada. La miel contiene varios ácidos como el acético, láctico, succínico, butírico, fórmico, cítrico, maleico, málico y oxálico; el glucónico se encuentra en mayor cantidad lo cual se origina de la glucosa a través de la acción de glucosa oxidasa.

c. Humedad

La humedad es un factor que afecta la conservación de la miel, ya que puede variar en la extracción y almacenamiento debido a sus propiedades higroscópicas, lo que significa que, si se almacena en un ambiente húmedo y a temperaturas bajas, absorbe humedad provocando la fermentación (MOYANO et al., 2023). El contenido máximo de humedad es de 21 % como límite máximo de aceptabilidad (NTP 209.168, 2014).

Contenido de agua presente en la miel, ocupa el segundo componente en cantidad en su composición de la miel de abeja, uno de los factores que influye



es el origen botánico, las condiciones climáticas la zona geográfica y la recolección el contenido de agua influye en la viscosidad, peso específico, cristalización, sabor y olor (FONSECA et al., 2006).

d. Hidroximetilfurfural (HMF)

El hidroximetilfurfural es un compuesto que se produce por la degradación de la fructosa en presencia de ácidos, el hidroximetilfurfural incrementa cuando es sometida a altas temperaturas de calentamiento el envejecimiento, por lo que se convierte en un indicador de la miel (MOYANO et al., 2023).

Asimismo, FECHNER et al. (2016) menciona que, la formación de hidroximetilfurfural es un proceso natural que sucede en el almacenamiento, lo cual es un derivado de la fructosa es reconocido como un parámetro de frescura. Según lo establecido por las (NTP 209.168, 2014) el contenido de hidroximetilfurfural (HMF) tiene que estar por debajo de 80 mg/Kg.

e. Color (Luminosidad)

El color de la miel variará dependiendo de su alimentación el tipo de néctar que consuman lo cual varía desde una tonalidad de marrón muy claro hasta verdoso casi negro (GRIGORYAN, 2016). De igual forma se puede considerar que, el color varía de pardo claro hasta negro, está estrechamente relacionado por el origen botánico (FATTORI, 2004).

Según HRIVNA et al. (2021) color influye en la aceptación de los consumidores; se analiza en el tiempo de almacenamiento donde indica la luminosidad (L^*) cuanto más se aproxima al cero (0) es igual a negro y si L^* se acerca a 100 es blanco.

f. Cenizas

Según las NTP 209.168 (2014), el contenido de sustancias minerales (cenizas) debe contener un máximo de 0,6 %. Por otra parte, otros autores nos indica, que el método de extracción de la miel y la cantidad del polen que constituyen, afectan el contenido total de cenizas; por lo tanto, no debe superar el límite de 0,5 % de modo que es un indicador de pureza de la miel (GARCÍA et al., 2022).



j. Viscosidad

La viscosidad presenta consistencias diferentes, de fluida hasta una textura sólida (cristalizada); lo que influye es el contenido de agua y la relación entre fructosa y glucosa a mayor cantidad de fructosa la miel se vuelve menos viscosa y también influye la temperatura (FATTORI, 2004).

Es un comportamiento de resistencia de solución en alimentos líquidos y semisólidos al fluir bajo una fuerza aplicada un esfuerzo de cizalla lo cual está directamente relacionada con el punto de corte, los fluidos podemos encontrarlos en Newtonianos, no Newtonianos (BADUI y BADUI, 2006).

k. Densidad

La densidad de la miel es un parámetro que se determina mediante el instrumento picnómetro; sin embargo, indica que es afectada por el contenido de agua comúnmente los valores de medición son a 20 °C los resultados están en el promedio de 1,419 g/cm³ (FATTORI, 2004). De acuerdo con AUDAY et al., (2021), la densidad de la miel suele oscilar entre 1,421 y 1,455 g/cm³, esta variación se ve influenciada por factores como el origen floral, el contenido de agua y la presencia de minerales y azúcares.

B. Propiedades funcionales

a. Actividad antioxidante

Los antioxidantes naturales, especialmente los flavonoides presentan una amplia gama de efectos biológicos, incluyendo antibacterianos, antiinflamatorios, antialérgicos, y vasodilatadores (MAMARY et al., 2002). Se puede decir que las clases de flavonoides muestran a la actividad antioxidante hacia una variedad de compuestos fácilmente oxidables, se producen flavonoides ampliamente en el reino vegetal y son ampliamente comunes, lo cual indica que la miel contiene tales propiedades (LARSON, 1988). Por otro lado, los radicales libres y oxidantes en exceso es dañino SCEPANKOVA et al. (2017).

Los ácidos orgánicos (glucónico, málico y cítrico), los carotenoides, las enzimas (glucosa oxidasa y catalasa) y la vitamina C son compuestos originalmente presentes en la miel, que actúan como antioxidantes. Otros



compuestos, como los compuestos de furfural (productos de la reacción de Maillard), que no están presentes originalmente en la miel, pero que se forman durante el procesamiento o almacenamiento de la miel, también pueden contribuir a la actividad antioxidante (BASTOS y SAMPAIO, 2012). La actividad antioxidante de la miel se puede determinar por dos métodos: la prueba de DPPH y ABTS (DZUGAN et al., 2018).

- **Método ABTS (2,2-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic ácido))**

El método ABTS (2,2-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic ácido)) utiliza espectrofotómetro para poder medir la pérdida de color cuando se agrega un antioxidante al cromóforo. El color azul-verde es generada mediante la oxidación de ABTS con persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$); el radical catiónico es un cromóforo que absorbe a una longitud de onda de 734 nm (ALAM et al., 2012).

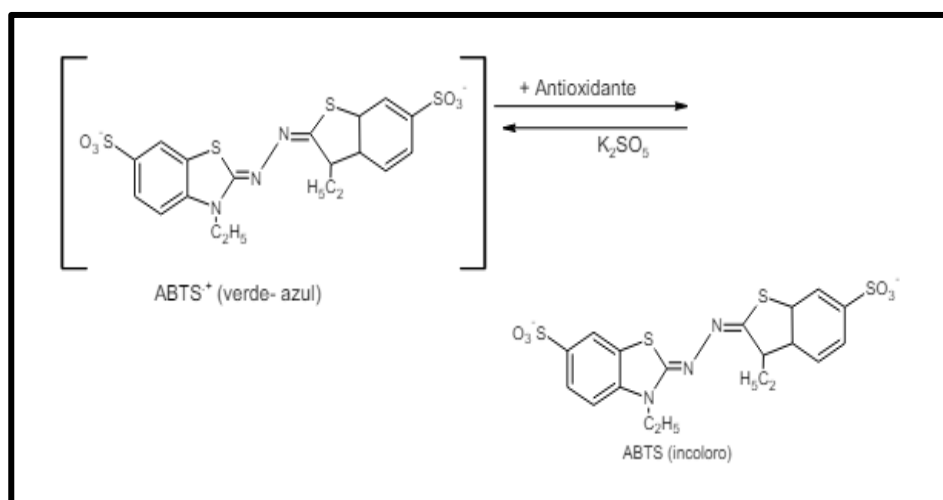


Figura 1 — Mecanismo de reacción para ensayo ABTS

b. Espectro infrarrojo

Proporciona una solución única se conoce como huella digital mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) de una muestra basada en datos bioquímicos generales (HORVATINEC y SVECNJAK, 2020). Del mismo modo, GAMBOA et al. (2023) indican que esta técnica analiza los cambios de vibración y rotación de las moléculas, es decir proporciona información y permite identificar compuestos.

c. Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) es una técnica para identificar y cuantificar los componentes de una muestra (GÁRCIA et al., 2022). En el caso de la miel, se pueden cuantificar los azúcares (fructosa, glucosa, sacarosa)(BARKIJEVIĆ y DIPLOMSKI, 2017).

3.2.5 Vida útil

La vida útil es el periodo entre la fabricación y la compra del consumidor, el alimento mantiene sus características fisicoquímicas, nutricionales y es seguro para el consumidor un producto inocuo VIDAURRE (2016). Por otra parte HOUGH et al. (2005) define que la vida útil es el periodo de tiempo durante el alimento mantiene su capacidad de satisfacer los requisitos necesarios y con la expectativa del consumidor considerando factores de calidad e inocuidad garantizando la seguridad.

De igual manera, LABUZA (1984) indica que la vida útil de un producto correspondiente a la fecha de caducidad menciona un método más común de abusar de la temperatura, que se utilizan variaciones de temperaturas para predecir la vida útil, dado que permite a los investigadores extrapolar los resultados a las condiciones donde será almacenado el producto, los cuales se aplican con la aceleración de temperaturas, el método de Arrhenius es un enfoque común en este contexto en datos acelerados en entornos de almacenamientos comunes.

3.2.5.1 Factores que influyen en la determinación de la vida útil

- **Factor intrínsecas:** Son propios del alimento o del producto terminado, también están dependen del tipo de materia prima, la calidad de los insumos y la formulación (VIDAURRE, 2016)
- **Factor extrínsecas:** Estos factores ocurren en el almacenamiento, lo cual también en este factor de puede interactuar con la reducción de temperatura, incremento de calor y controlan la velocidad de reacción los influyen la temperatura, humedad relativa y depende del envase. (FERNÁNDEZ y GARCÍA, 2010; PRACTICAL, 2009; VIDAURRE, 2016).



Tabla 3 — Propiedades extrínsecas e intrínsecas de los alimentos

Intrínsecas	Extrínsecas
Calidad microbiológica de la materia prima	Temperatura de almacenamiento
Potencial de iones hidrogeno (pH)	Atmosfera de almacenamiento
Actividad de agua (aw)	Humedad relativa
Potencial REDOX (Eh)	Empacado
Estructuras biológicas	Practica de venta al detal
Disponibilidad de oxigeno	Practica del consumidor
FUENTE: FERNÁNDEZ y GARCIA (2010)	

3.2.6 Método acelerado

Las pruebas aceleradas están diseñadas con la finalidad de incrementar la degradación controlada de un alimento, este método también llamado método directo es usado para analizar las principales variables de deterioros químicos, físicos de los alimentos en periodos cortos y predecir la vida útil de un producto (SKIBSTED, et al., 2011).

La prueba acelerada (ASLT) suele usarse cuando el estudio de vida útil será largo, ya sea meses o años, en donde se almacenarán los alimentos a temperaturas elevadas para estimar las cinéticas de degradación y luego de ello extrapolar los datos a la temperatura que se desee conservar el alimento (DOMINIC, 2015).

3.2.7 Efecto de la temperatura

La temperatura juega un papel muy importante en las reacciones químicas; la velocidad de reacción aumenta a medida que se incrementa la temperatura, aumenta el número de colisiones en ellas y se logra sobrepasar las altas energías de activación (FERNÁNDEZ y GARCÍA, 2010).

Donde se mencionan la temperatura es un factor acelerador más crítico que afecta a la reacción cinética en los alimentos, también indica la pérdida de calidad (NICOLI, 2012).



Según PRACTICAL (2009) menciona que, la temperatura es fundamental por lo que es un factor clave para determinar las velocidades de deterioro y la temperatura en el almacenamiento acelera el envejecimiento por ello el modelo más usado es la relación de Arrhenius.

3.2.7.1 Efecto de la temperatura y tiempo en la miel

El incremento de la temperatura daña a las levaduras amófilas tolerantes al azúcar, mientras tanto el contenido de hidroximetilfurfural (HMF) incrementa y la actividad enzimática disminuye (ESHETE y ESHETE, 2019).

Los efectos de la temperatura y el tiempo en la miel son significativos e influyen en sus propiedades fisicoquímicas, actividad enzimática y atributos sensoriales. RABABAH et al. (2024) indica que al elevar la temperatura modifica las propiedades fisicoquímicas, aroma, sabor y color; también puede alterar su contenido de humedad, acidez, perfil de azúcar y propiedades antioxidantes, además de afectar su actividad enzimática y sus niveles de hidroximetilfurfural (HMF).

3.2.8 Punto de corte

a. Metodología de supervivencia

Esta metodología se basa para los estudios de vida útil en que los consumidores presentan muestras con diferente tiempo de almacenamiento; puede ser de días, semanas o meses, en donde el consumidor muestra un rechazo del 50 % al producto evaluado HOUGH et al. (2005).

3.2.9 Cinética química de los alimentos

Las reacciones químicas ocurren durante el almacenamiento en algunos casos da como resultado la pérdida de calidad, mientras que otras reacciones dan lugar a la formación de compuestos indeseables, mide las velocidades de las reacciones (VIDAURRE, 2016).

Estudia los mecanismos de una reacción de cambio por el tiempo de almacenamiento; la cinética química desempeña un papel crucial en la



comprensión de las reacciones que se producen en los sistemas alimentarios, ya que influyen tanto en la calidad como en la seguridad de los alimentos estos aspectos son clave para la cinética química de los alimentos incluyen la velocidad de reacción, la influencia de la temperatura y la aplicación de modelos matemáticos para predecir los cambios en los atributos de los alimentos. (BROCKLEHURST et al., 1994).

El objetivo básico de los ensayos acelerados es realizar estudios a temperaturas elevadas para luego poder predecir el deterioro a temperaturas de almacenamiento menores. Para poder extrapolar los resultados obtenidos de temperaturas elevadas a temperaturas más bajas, es necesario aplicar la ecuación de Arrhenius, cuyo parámetro clave es la energía de activación. A continuación, se desarrollarán tres formas de estimar este parámetro: por regresión lineal básica, regresión lineal con intervalos y por regresión no lineal (HOUGH et al., 2005).

3.2.10 Energía de activación (E_a)

El objetivo de los ensayos de los ensayos acelerados es realizar estudios a temperaturas elevadas, para finalmente predecir el deterioro a temperaturas de almacenamiento menores, para poder extrapolar los resultados obtenidos es necesario aplicar la ecuación de Arrhenius cuyo parámetro es muy importante para la energía de activación (HOUGH et al., 2005).

El valor de la energía de activación (E_a) es una medida de la sensibilidad a la temperatura de la reacción, es decir si la temperatura se eleva la reacción será más rápida generalmente se recomienda elevar la temperatura en cada 10 °C (LABUZA, 1984).

3.2.11 Reacción química de orden cero

Las reacciones de orden cero ($n=0$) se presentan en muchas ocasiones en el rubro del sistema alimentario; un claro ejemplo es la aparición de colores oscuros en el alimento, como resultado de la reacción Maillard (VIDAURRE, 2016). Se produce cuando ocurre una disminución lineal de los atributos se usa en la industria alimentaria (BROCKLEHURST et al., 1994). También implica la variación con respecto al tiempo es constante, por lo tanto, la pérdida de dicho



atributo no dependerá de la concentración del atributo de calidad (HOUGH et al., 2005).

Asumiendo que es de reacción de orden cero (n=0), en la ecuación diferencial ordinaria que se presenta, la cinética de pérdida de factores deseables [A], y también se presentan formación de indeseables [B], se resuelve de la siguiente manera:

Perdidas de compuestos deseables

$$\frac{-d[A]}{dt} = K[A]^0 \dots\dots\dots (\text{Ec. 1})$$

$$\int_A^{A_0} d[A] = -k \int_0^t dt \dots\dots (\text{Ec. 2})$$

$$A - A_0 = -kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 3})$$

$$A = A_0 - kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 4})$$

Formación de compuestos indeseables

$$\frac{+d[B]}{dt} = K[A]^0 \dots\dots\dots (\text{Ec. 5})$$

$$\int_B^{B_0} d[B] = k \int_0^t dt \dots\dots\dots (\text{Ec. 6})$$

$$B - B_0 = kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 7})$$

$$B = B_0 + kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 8})$$

Donde:

B = Calidad a tiempo t

B₀ = Calidad a tiempo cero

k = Constante de velocidad de reacción

t = Tiempo de almacenamiento

3.2.12 Reacción química de primer orden

La reacción de primer orden (n=1) en donde el atributo disminuye de manera exponencial en el tiempo de almacenamiento (BROCKLEHURST et al., 1994).



La vida útil en muchos casos no sigue una simple velocidad constante de degradación; otros alimentos que no se deterioran por orden cero siguen un modelo que resulta un decrecimiento exponencial en la velocidad de pérdida, como la calidad decreciente $n = 1$. Según HOUGH et al. (2005), la reacción es de primer orden y se expresa de este modo:

$$\frac{-d[A]}{dt} = K[A]^1 \dots\dots\dots (\text{Ec. 9})$$

$$\int_A^{A_0} \frac{d[A]}{[A]} = -k \int_0^t dt \dots\dots (\text{Ec. 10})$$

$$\text{Ln} \frac{[A]}{A_0} = -kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 11})$$

$$[A] = [A_0]e^{-kt} \dots\dots\dots (\text{Ec. 12})$$

$$\ln[A] = \ln[A_0] - kt \dots\dots (\text{Ec. 13})$$

Compuestos de formación de compuestos indeseables (B), teniendo en cuenta que $n=1$

$$\frac{+d[B]}{dt} = K[B]^1 \dots\dots\dots (\text{Ec. 14})$$

$$\int_B^{B_0} \frac{d[B]}{[B]} = k \int_0^t dt \dots\dots\dots (\text{Ec. 15})$$

$$\text{Ln} \frac{[B]}{B_0} = kt \dots\dots\dots (\text{Ec. 16})$$

$$[B] = [B_0]e^{kt} \dots\dots\dots (\text{Ec. 17})$$

$$\ln[B] = \ln[B_0] + kt \dots\dots (\text{Ec. 18})$$

Donde:

B = calidad a tiempo t

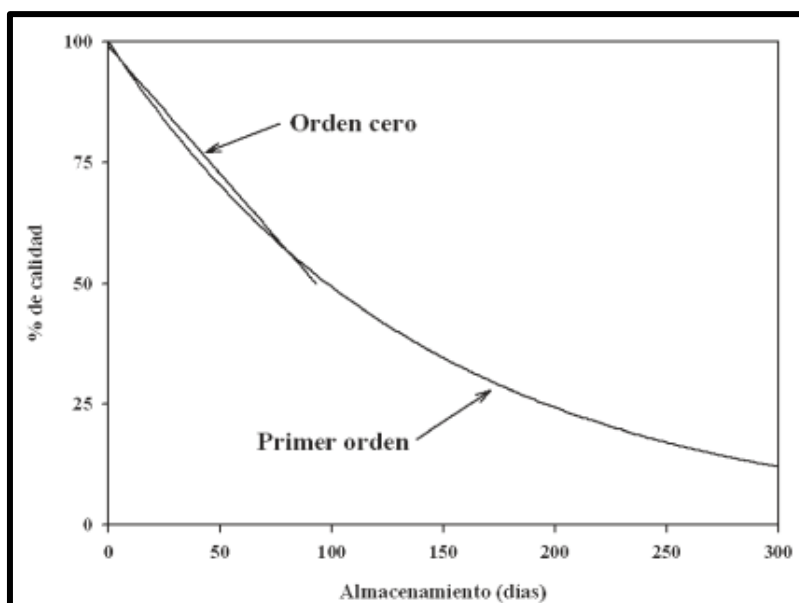
B₀ = calidad a tiempo cero

k = constante de velocidad de reacción

t = tiempo de almacenamiento

la Figura 2, se muestra la reacción de orden cero y primer orden usualmente se observa en degradaciones enzimáticas, en alimentos refrigeradas oxidación, crecimiento de microorganismos, pérdidas de vitaminas.





Extraído de LABUZA (1984).

Figura 2 — Determinación de órdenes de reacción

3.2.12.1 Análisis de regresión

Dentro de la evaluación de la vida útil, es importante determinar el orden de reacción a base de los datos (basadas en reacciones químicas, muerte sensorial, crecimiento microbiano), de esta manera se pueda determinar si siguen al orden cero ($n=0$) o de primer orden ($n=1$) (LABUZA, 1984).

$$Y = b + ax \dots\dots (Ec. 19)$$

Donde :

Y: Variables dependiente, Hidroximetilfurfural, Viscosidad y color (k) para el estudio de orden cero y logaritmo natural de los resultados (Ln k) para el estudio de modelo de orden uno.

x: Variable independiente (tiempo de tratamiento)

b: Punto en el cual de la línea recta intercepta el eje (eje de origen)

a: Pendiente de la línea.

3.2.13 Modelo de Arrhenius

El modelo Arrhenius se aplica en alimento que son capaces de soportar temperaturas lo cual implica que no provoque un cambio brusco, también la

elección de temperaturas para evitar reacciones de degradación (NICOLI, 2012). Por otro lado PRACTICAL (2009) indica que, un efecto de la temperatura sobre las tasas de deterioro de reacciones es la de Arrhenius.

Según HOUGH et al. (2005) mencionan que, la influencia de la temperatura en la velocidad de la reacción puede ser descrita usando la relación de Arrhenius. A continuación, se presenta en la (Ecuación 21), la relación en la forma integrada es:

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 20})$$

Linealizando la ecuación

$$\ln(k) = \ln(k_0) - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T} \dots (\text{Ec. 21})$$

Dónde:

K = Constante de velocidad de deterioro

k₀ = Constante, independiente de la temperatura (conocido como Arrhenius, preexponencial, colisión o factor de frecuencia)

E_a = Energía de activación

R = Constante de gases ideales (1.1987 Kcal/mol)

T = Temperatura en °K (°C + 273)



3.3 Marco conceptual

- a) **Orden de reacción:** Se llama orden de reacción al número de moléculas que interactúan bajo la forma de un reactivo; el orden de reacción es un factor exponencial las cinéticas de reacción de orden cero ($n=0$) y primer orden ($n=1$) (VIDAURRE, 2016).
- b) **Energía de activación:** El objetivo básico de los ensayos acelerados es realizar estudios a temperaturas elevadas para luego poder predecir el deterioro a temperaturas de almacenamiento menores. Para poder extrapolar los resultados obtenidos a temperaturas elevadas a temperaturas más bajas, será necesario aplicar la ecuación de Arrhenius, cuyo parámetro clave es la energía de activación (HOUGH et al., 2005).
- c) **Vida útil:** Periodo transcurrido entre la producción de un alimento que conserva sus características fisicoquímicas y nutricionales. Finaliza su vida útil cuando no satisface las necesidades específicas del consumidor también de ja de ser inocuo (VIDAURRE, 2016)
- d) **Modelo de Arrhenius:** Es un modelo matemático desarrollado por Svante Arrhenius indica que la temperatura influye sobre la constante de velocidad de reacción química (VIDAURRE, 2016).
- e) **Color:** La miel puede variar en una amplia gama de colores, desde un tono muy claro hasta oscuros intensos; esto se debe al origen botánico también varía dependiendo de los minerales de polen y compuestos fenólicos (ULLOA et al., 2010).
- f) **FTIR:** La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), que se ha convertido en uno de los medios analíticos más útiles, se basa en los cambios en los modos vibratorios y rotacionales de la molécula al recibir luz infrarroja se dice que cada muestra tiene una composición única (GAMBOA et al., 2023).
- g) **Prueba de Tukey:** La prueba de Tukey es un método que tiene como finalidad de comparar las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de varias muestras sometidas a tratamientos distintos (GUILLEN et al., 2019).
- h) **Prueba de Kruskal – Wallis:** Es un método no paramétrico que se utiliza para rangos de datos muestrales de tres a más poblaciones; intuitivamente es idéntico al ANOVA (GUILLEN et al., 2019).



- i) **Diseño de bloques:** La creación de bloques tiene como objetivo tener comparaciones precisas entre los tratamientos de los estudios de investigación; cabe recalcar que son un medio para reducir y controlar la varianza del error experimental con el fin de lograr una mayor precisión (MARIACA, 2009).

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo de investigación, de acuerdo con HERNÁNDEZ (2014), se clasifica como un estudio de enfoque cuantitativo, dado que se miden variables numéricas. Se trata de un diseño experimental en el cual se manipulan las variables independientes, específicamente la temperatura y el tiempo, con el objetivo de determinar el tiempo de vida útil y las condiciones óptimas de almacenamiento de la miel crema. Además, se caracteriza por un nivel de investigación descriptivo y predictivo, puesto que se describen las características fisicoquímicas de la miel crema y se busca predecir su vida útil.

4.2 Diseño de la investigación

4.2.1 Diseño de la investigación en la variación en el tiempo y temperatura

En la presente investigación experimental, se consideran como factores de respuesta la acidez, el pH y el porcentaje de inhibición de la actividad antioxidante, mientras que las temperaturas (5, 15 y 25 °C) se establecen como bloques. Se empleó un diseño factorial completo, utilizando un nivel de significancia del 95 % de confianza. Las pruebas se realizaron por triplicado, abarcando un total de 27 tratamientos y, en consecuencia 243 observaciones, como se detalla en la Tabla 4 y se sigue el diagrama de las Figuras 43 y 44.

4.2.2 Diseño de investigación para vida útil

Según HOUGH et al. (2005) se seleccionó un diseño básico, consiste en almacenar un lote de muestra de miel crema en tres condiciones de temperaturas (5, 15 y 25°C) durante un periodo de 160, 96 y 16 días. En cada muestreo se realizan los análisis de hidroximetilfurfural, viscosidad y luminosidad.



Tabla 4 — Diseño de investigación para variación de las características fisicoquímicos en los tiempos y temperaturas

Temperatura de almacenamiento T °C	Tiempo máximo de almacenamiento	Periodo de muestreo (días)	Características fisicoquímicas	Repeticiones	Días de muestreo								
					M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
5	160 días	20	Acidez (meq/Kg)	3	0	20	40	60	80	100	120	140	160
			pH	3	0	20	40	60	80	100	120	140	160
			% de Inhibición	3	0	20	40	60	80	100	120	140	160
15	96 días	12	Acidez (meq/Kg)	3	0	12	24	36	48	60	72	84	96
			pH	3	0	12	24	36	48	60	72	84	96
			% de Inhibición	3	0	12	24	36	48	60	72	84	96
25	16 días	2	Acidez (meq/Kg)	3	0	2	4	6	8	10	12	14	16
			pH	3	0	2	4	6	8	10	12	14	16
			% de Inhibición	3	0	2	4	6	8	10	12	14	16
TOTAL				243 observaciones									

Claves

M1: primera evaluación; M2: Segunda evaluación; M3: Tercera evaluación; M4: Cuarta evaluación; M5: Quinta evaluación; M6: Sexta evaluación; M7: Séptima evaluación; M8: Octava evaluación; M9: Novena evaluación

Tabla 5 — Diseño de investigación para la vida útil de miel crema

Temperatura de almacenamiento T °C	Tiempo máximo de almacenamiento de miel crema	Características fisicoquímicas	Días de muestreo								
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
5	160 días	<ul style="list-style-type: none"> • Hidroximetilfurfural (HMF) • Viscosidad • Luminosidad 	0	20	40	60	80	100	120	140	160
			0	20	40	60	80	100	120	140	160
			0	20	40	60	80	100	120	140	160
15	96 días		0	12	24	36	48	60	72	84	96
			0	12	24	36	48	60	72	84	96
			0	12	24	36	48	60	72	84	96
25	16 días		0	2	4	6	8	10	12	14	16
			0	2	4	6	8	10	12	14	16
			0	2	4	6	8	10	12	14	16
		TOTAL	243 observaciones								
Claves											
M1: primera evaluación; M2: Segunda evaluación; M3: Tercera evaluación; M4: Cuarta evaluación; M5: Quinta evaluación; M6: Sexta evaluación; M7: Séptima evaluación; M8: Octava evaluación; M9: Novena evaluación											

Tabla 6 — Diseño experimental del estudio desarrollado

DISEÑO EXPERIMENTAL								
PRIMERA FASE							SEGUNDA FASE	
Operación unitaria	Materia prima	Recepción	Pesado	Batido	Miel crema	Almacenado	Vida útil	
							Temperatura de almacenamiento	Días de almacenamiento
TRATAMIENTO	○ →	○ →	○ →	○ →	○ →	○ →	5 °C →	0,20,40,60,80,100,120,150 y 160
							15 °C →	0,12,24,36,48,60,72,84 y 96
							25 °C →	0,2,4,6,8,10,12,14 y 16
Análisis	Análisis fisicoquímico						Control de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Acidez • pH • Porcentaje de inhibición • Viscosidad • Hidroximetilfulfural • Luminosidad (L*)

4.3 Población y muestra

- **Población**

La población de estudio en esta investigación estuvo constituida por 50 Kg de miel de abeja (*Apis mellifera*) multiflora cristalizada, procedente del distrito de Circa, coordenadas: latitud Sur 13° 52' 37.1"S (13.876973), longitud Oeste 72° 55' 54.3"W (-72.931740), y una altitud de 2100 m s.n.m en la provincia de Abancay, departamento de Apurímac.

- **Muestra**

Para realizar los análisis de vida útil y características fisicoquímicas, se utilizó una muestra de 13,5 Kg de miel. La muestra se proporcionó en envases de vidrio de capacidad de 180 g cada uno.

4.4 Procedimiento

En el procedimiento de investigación se tuvo dos fases; la primera fase en la obtención de miel crema y la segunda fase fue el estudio de vida útil mediante pruebas aceleradas la primera fase se detalla en la Figura 3.



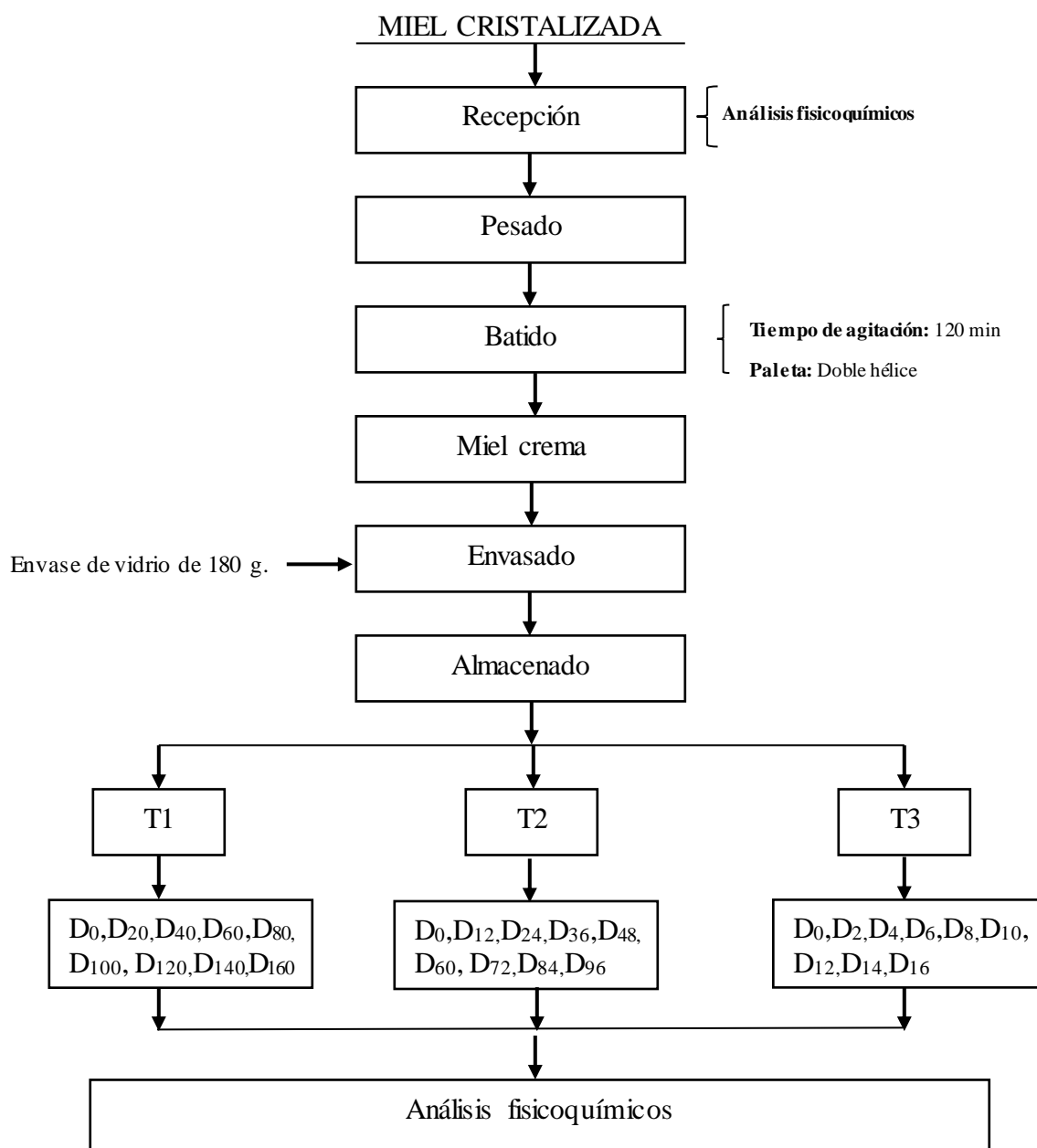


Figura 3 — Diagrama de flujo para la obtención de miel crema y acondicionamiento para las pruebas aceleradas

4.4.1 Descripción del Diagrama de flujo de miel crema

- a) **Recepción:** Esta operación se desarrolló con el propósito de admitir un producto de calidad e inocuo, se realizó de forma visual, en esta etapa se monitoreó el pH, % de acidez, % de ceniza, % de grasa, hidroximetilfurfural (HMF), luminosidad, viscosidad, % de inhibición y FTIR.
- b) **Pesado:** Se realizó el pesado para el batido por Bach de 15 Kg, para las pruebas experimentales.

- c) **Emulsificado:** Este proceso se realizó en una batidora semi industrial a una velocidad de 100 rpm con paleta en forma de doble hélice, durante 120 minutos a temperatura ambiente.
- d) **Miel crema:** En esta etapa se obtuvo el producto final que es la miel crema, para realizar los análisis fisicoquímicos, parámetros cinéticos y predicción de vida útil.
- e) **Envasado:** En seguida se procedió el envasado en frascos de vidrio de una capacidad de 180 g de miel crema.
- f) **Almacenado:** La miel crema se dividió en tres lotes, las que fueron almacenadas a diferentes condiciones, el primer lote se almacenó en una estufa a 25 °C (16 días de almacenamiento), el segundo lote en un ambiente acondicionado a 15 °C (96 días de almacenamiento) y finalmente el tercer lote en refrigeración a 5 °C (160 días de almacenamiento).

4.5 Técnicas e instrumentos

4.5.1 Determinación de las propiedades fisicoquímicas

a. Determinación del potencial del hidrogeno (pH)

Se siguió la metodología de BOGDANOV (2009)

Procedimiento

- Para la determinación utilizo un vaso precipitado donde se pesó 10 g de miel, se disolvió con 75 ml de agua destilada.

Determinación

- Se utilizó un potenciómetro para realiza la lectura.

b. Determinación de acidez

Se determinó mediante la metodología NTP 209.174 (2019)

Procedimiento

- Preparo hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N.
- Para preparar esta solución de NaOH, se hizo los cálculos necesarios. Se preparó para 100 ml para lo cual se utilizó 0.4 g de hidróxido de sodio.



- Se llenó una bureta con una solución de hidróxido de Sodio 0.1 N, previamente preparada
- Se pesó 10 g de miel crema en una balanza gramera, se disolvió con 75 ml de agua destilada en un vaso precipitado de 250 ml.
- Se le adiciono a la muestra diluida 3 a 4 gotas de fenolftaleína como indicador.
- Se tituló gota a gota con la solución de hidróxido de sodio (NaOH) al mismo tiempo agitando lentamente el vaso precipitado con la muestra hasta que la muestra se torne, un color rosa a púrpura, el cual debe mantenerse mínimamente por 10 segundos.
- Finalmente, se tomó la lectura en la bureta (el gasto de NaOH).
- Se utilizó la siguiente fórmula para los cálculos:

Donde:

$$\begin{aligned}\text{Miliequivalentes de acidez} &= \frac{\text{Gasto (ml)de NaOHxN}}{\text{peso de la miel(g)}} * 1000 \\ &= \frac{\text{Gasto (ml)de NaOHx0.1x1000}}{10} \\ &= \text{Gasto (ml)de NaOHx10} = 10v\end{aligned}$$

c. Determinación del contenido de humedad por refractómetro

La determinación de la humedad fue por la metodología refractómetro directo NTP 209.171 (2019). Se realizó con el refractómetro manual.

Procedimiento

- Se realizó una calibración con agua destilada, limpiar y secar con papel tissue.
- Se colocó la muestra (miel crema) de 3 a 4 gotas en la superficie del prisma de refractómetro para cubrir completamente el prisma, cerrar la tapa y observar la escala de medición a través de los oculares.
- Finalmente se anotan los datos obtenidos.



d. Determinación del contenido de sustancias minerales (cenizas)

La determinación del contenido de sustancias minerales se realizará según NTP 209.175 (2019).

Procedimiento

- Se colocó 3 g de miel en el crisol de porcelana, previamente pesado; se calentó lentamente con el mechero de bunsen hasta el desprendimiento de humos y espumas.
- A continuación, se colocó el crisol en la mufla hasta alcanzar una temperatura de 600 °C por un tiempo de 6 horas.
- Finalmente, se retira el crisol con unas pinzas de la mufla, dejando enfriar en el desecador con cloruro de calcio como un agente para controlar la humedad; luego se pesa, obtenidos los datos se calcula el porcentaje.

Para el cálculo de contenido de cenizas se usó la siguiente fórmula:

$$\% C = \frac{P3 - P1}{P2 - P1} * 100$$

Donde:

%C = Porcentaje de cenizas

P1 = Peso del crisol vacío en g

P2 = Peso del crisol más la muestra en g

P3 = Peso del crisol más la muestra calcinada en g

e. Determinación de color (luminosidad)

Se utilizó la metodología establecido por (BOUSSAID et al., 2018).

Procedimiento

- Se utilizó un colorímetro “COLORIMETER”; los parámetros fueron L* luminosidad, de 0 (negro) a 100 (blanco). Se realizó la medición de color utilizando CIE L*.
- Se usó una caja blanca y se realizó la lectura con el colorímetro en placas petri con una cantidad aproximadamente de 40 g de miel crema.



- Se realizó los disparos en una posición de un ángulo de 90°.
- Finalmente se registró el valor L* obtenido, el cual indicó la luminosidad de la miel crema.

f. Determinación de grasa por Soxhlet

Se siguió la metodología de SULASTRI y PURNAMASARI (2023).

Procedimiento

- El contenido de grasa se realizó, con éter de petróleo; la extracción se realizó a partir de 5 g de muestra de miel con papel filtro que fueron colocados en cartuchos de celulosa.
- También se pesaron vasos de acero inoxidable y se equipó en el extractor soxhlet. Se extrajo la grasa durante 2 horas a una temperatura de 80 °C con 70 ml de éter petróleo.

El porcentaje de la grasa se calcula con la siguiente ecuación

$$\text{Porcentaje Grasa} = \frac{P1 - P2}{P0} * 100$$

Donde :

P1 = Peso del recipiente con la muestra.

P2 = Peso del recipiente vacío.

P0 = Peso de la muestra.

g. Determinación de viscosidad

Se siguió la metodología de (OVANDO, 2006).

Procedimiento

- Encender el viscosímetro rotacional digital Brookfield modelo RHEOMETER, fijar el usillo 7, regular el nivel del viscosímetro.
- Añadir la muestra dentro del cilíndrico concéntrica una velocidad de 2 rpm, pulsar ejecutar.
- Se registró la lectura en Pa.s.



h. Determinación de hidroximetilfurfural (HMF)

Se implementó el protocolo metodológico de HOŠŤÁLKOVÁ et al. (2013), Método de Hidroximetilfurfural (HMF), el 5-(hidroximetil-2-furanocarbaldehído).

Procedimiento:

- Pesado de miel crema 5 g en balanza gramera.
- Diluir con agua destilada hasta aforar 20 ml.
- Introducir la tira de código de barras RQflex® 20, 3 segundos, introducir la tira con las zonas de reacción en dirección de la pantalla hasta el tope en el adaptador de tiras.
- Transcurrido el tiempo de espera 120 segundos, leer en la pantalla el resultado de la medición en mg/l de Hidroximetilfurfural.

Resultado del análisis = valor de medición × factor de dilución

i. Determinación de densidad

La densidad de la miel se determinará según la metodología LAZCANO et al. (2012).

Procedimiento

- La densidad de la miel mediante el método de picnometría.

Para el cálculo de la densidad se utilizará la siguiente fórmula:

$$Densidad = \frac{a - b}{c}$$

Donde:

a = Peso del picnómetro con la muestra

b = Peso del picnómetro vacío

c = Volumen del picnómetro



j. Determinación de espectro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)

Para la determinación del análisis de FTIR se siguió el método de HORVATINEC y SVECNJAK (2020).

Procedimiento

- El análisis FTIR se realizará con el espectrómetro de UV-Vis Marca (Thermo Scientific).
- Encender el equipo, dejar que se estabilice y configurar los parámetros de análisis, el rango espectral y el número de escaneos.
- Colocar la muestra en la superficie de la celda de muestra.
- Guardar los resultados obtenidos durante el escaneo para identificar las bandas de absorción.

k. Determinación de actividad antioxidante

• **Método mediante ABTS**

Se determino mediante la metodología BRAND et al. (1995) de modificado por (TOVAR, 2013).

Preparación del reactivo

- Se peso en una balanza analítica 77.6 mg del reactivo ABTS (ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)), adicionar 20 ml de agua destilada, seguidamente pesar 13.2 mg de persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$), se homogenizo en un frasco ámbar con la solución de ABTS finalmente se almacena a temperatura ambiente por 16 horas.
- Una vez obtenida el radical ABTS se diluyo con etanol absoluto hasta obtener el valor de absorbancia de 10 nm a 732 nm (longitud de onda) máxima absorción.
- Encender el equipo espectrofotómetro realiza el ajuste con alcohol etanol, se colocó en un tubo de ensayo la solución 2700 μ l ABTS más 300 μ l de muestra de miel crema. Se midió la absorbancia a 734 nm con un intervalo de 6 min, los ensayos se realizarán por triplicado.



Calculo

- Calcular el porcentaje de capacidad antioxidante (porcentaje de inhibición), según la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de inhibición} = \left(\frac{A_I - A_F}{A_i} \right) * 100$$

Donde:

A_i = Absorbancia inicial

A_f = Absorbancia de la muestra

l. Determinación de la constante de velocidad de degradación y orden de reacción

Las muestras fueron almacenadas en tres temperaturas diferentes durante distintos lapsos de tiempo. Para determinar el orden de reacción, se evaluaron en las muestras que se encontraron a 25 °C; se analizó cada dos días por 9 evaluaciones, las muestras almacenadas a 15 °C cada 12 días, 9 evaluaciones y finalmente a las muestras almacenadas a 5 °C cada 20 días, 9 evaluaciones.

Con estos datos se obtienen las cinéticas de degradación de las 3 variables dependientes hidroximetilfurfural (HMF), luminosidad (L^*) y viscosidad, a partir de ello se determina el orden de reacción. Utilizando como indicador estadístico el R^2 (coeficiente de determinación). Calculado el orden de reacción se procedió a la evaluación utilizando la ecuación de Arrhenius.

Según (VIDAURRE, 2016), se evalúa la influencia de la temperatura sobre la constante de reacción utilizando Arrhenius.

m. Determinación de la vida útil por método acelerado

La miel crema fue sometida a tres temperaturas (5, 15 y 25 °C) y a tiempos (160, 96 y 16 días), para lograr tratamientos de degradación acelerados. Este método se caracteriza por aumentar o disminuir temperaturas en rangos constantes al almacenar, por las características del producto se eligió tres temperaturas 5, 15 y 25 °C, estableciendo así un rango de 10 °C, se



evaluaron en 9 intervalos temporales distintos para cada ajuste de temperatura donde se evaluaron las características fisicoquímicas: hidroximetilfurfural (HMF), color (L^*), viscosidad como se observa en la Figura 4.

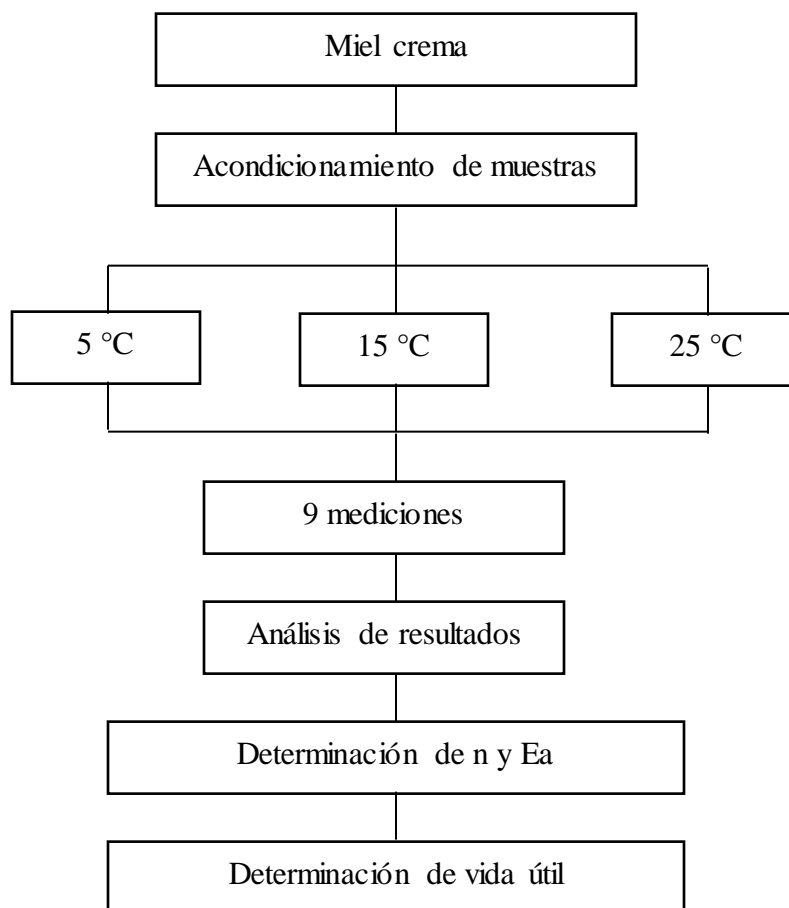


Figura 4 — Diagrama para la determinación de vida útil

4.5.2 Instrumentos y materiales

a) Materia prima

- Miel de abeja (cristalizada)

b) Materiales de laboratorio

- Vasos precipitados 100 ml, 40 ml, 20 ml, 10 ml
- Pipetas 10 ml
- Probeta 100 ml, 10 ml



- Soporte universal
- Pinzas
- Crisoles
- Mechero bunsen
- Envases de vidrio de 250 g
- Gradilla
- Papel toalla
- Papel tissue
- Varilla de vidrio
- Frasco ámbar
- Pinzas
- Tubos de ensayo
- Pissetas
- Fiole de 10 ml
- Pipeta de 10ml
- Tubos de ensayo
- Tubos falcón de capacidad de 50 ml
- Gradilla
- Papel aluminio

c) **Equipos**

- Balanza analítica marca RADWAG
- Balanza gramera marca TRAVELER OHAUS
- Digestor Kjeldahl marca LABCONCO
- Campana extractora de gases
- Extractor de grasas Soxhlet
- Estufa termostática, marca MEMMERT, tipo UNE 400, Germany.
- Mufla marca LINDBERG/BL
- Potenciómetro (pH) marca SIANALUTICS
- Refractómetro
- Micropipeta a escalas de 10 μL , 50 μL , 100 μL , 200 μL , 1000 μL y 5000 μL
- Espectrofotómetro, marca SPECTROQUANT PHARO 300



- Autoclave vertical modelo FV3035, marca FAMAREL
- Refrigeradora
- Vortex mixer marca VELD SCIENTIFICA
- Viscosímetro BROOKFIELD marca RHEOMETER DV3T
- Batidora modelo VB-10 marca VENTUS CORP
- Purificador de agua marca RERMO SCIENTIFIC
- Colorímetro marca PCE-CSM7
- Espectrofotómetro Infrarrojo (FTIR) marca TERMO SCIENTIFIC-Smart

d) Reactivos

- Agua destilada
- Ácido sulfúrico
- Éter petróleo
- Hidróxido de Sodio, solución 0.1 N
- ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)
- Persulfato de potasio
- Alcohol etílico absoluto
- Hidróxido de sodio NaOH
- Ácido bórico

4.6 Análisis estadístico

Para evaluar la variación en el tiempo y temperatura para la vida útil, se realizaron pruebas de análisis de varianza (Kruskal- Wallis) seguido de una prueba de Tukey para hacer ranking de los tratamientos. Se utilizó para este análisis el programa Statgraphics Centurión 14, para los gráficos el software OriginPro 2024 y la hoja de cálculo de Microsoft Excel 2019.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Análisis preliminares

En la presente investigación se analizaron las características fisicoquímicas de la materia prima (miel cristalizada) el porcentaje de acidez, humedad, cenizas, grasa, color, sólidos totales (°Brix), hidroximetilfurfural (HMF) y pH. A continuación, se puede observar los resultados obtenidos en la Tabla 7.

Tabla 7 — Características fisicoquímico de la miel cristalizada

Composición	Valor ($\bar{x} \pm DS$)
Acidez (meq/Kg)	14,652 \pm 0,577
Humedad (%)	16,933 \pm 0,115
Cenizas (%)	0,187 \pm 0,014
Grasa (%)	0,069 \pm 0,003
Color (L*)	50,921 \pm 0,703
Sólidos totales (°Brix)	81,300 \pm 0,173
Hidroximetilfurfural (mg/l)	14,8 \pm 0,000
Ph	4,207 \pm 0,042
Claves	
\bar{x} : Promedio de 3 repeticiones DS : Desviación estándar	

En la Tabla 8, se muestra los valores de la miel crema el porcentaje de acidez, humedad, cenizas, grasa, color (luminosidad), sólidos totales (°Brix), hidroximetilfurfural (HMF), pH, fructosa, glucosa y sacarosa.

Los resultados de las muestras (miel crema) se analizó por triplicado, estos resultados están dentro de los rangos establecidos según las normas técnicas peruanas y otros autores para la determinación de vida útil por métodos acelerados.

Tabla 8 — Características fisicoquímico de la miel crema

Componente	Miel crema ($\bar{x} \pm DS$)
Acidez (meq/Kg)	13,653 \pm 0,577
Humedad (%)	16,633 \pm 0,231
Color (L*)	74,214 \pm 0,150
Solidos totales (°Brix)	81,833 \pm 0,289
HMF (mg/L)	10,8 \pm 0,000
pH	4,377 \pm 0,006
Fructosa (mg/ml)	42,246 \pm 3,820
Glucosa (mg/ml)	37.208 \pm 6,440
Claves	
\bar{x} : Promedio de 3 repeticiones DS: Desviación estándar	

De acuerdo con los datos presentados en las Tablas 7 y 8, se observa una diferencia significativa entre las muestras de miel cristalizada y miel crema en términos de acidez. La acidez de la miel cristalizada es de 14,652 \pm 0,577 meq/Kg, lo que la caracteriza con un valor superior en comparación con la miel crema, que presenta una acidez de 13,653 \pm 0,577 meq/Kg. En relación con la humedad, la miel cristalizada muestra un contenido de 16,933 \pm 0,115, mientras que la miel crema tiene un valor de 16,633 \pm 0,231, lo que indica que la miel crema tiene una humedad ligeramente menor, cumpliendo con las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

Asimismo, en cuanto a la luminosidad, la miel cristalizada presenta un valor de 50,921 \pm 0,703, mientras que la miel crema alcanza un valor de 74,214 \pm 0,150. Este hallazgo sugiere una mayor luminosidad en la miel crema, atribuible al

proceso de batido y a la incorporación de aire, así como al menor tamaño y mayor homogeneidad de las partículas de los cristales, lo que contribuye a su luminosidad.

En lo que respecta al contenido de hidroximetilfurfural, la miel cristalizada presenta un valor de $14,8 \pm 0,000$, en comparación con $10,8 \pm 0,000$ en la miel crema. Por último, el pH de la miel cristalizada es de $4,207 \pm 0,042$, mientras que en la miel crema es de $4,377 \pm 0,006$.

A. FTIR -IR de miel crema y miel cristalizada

En las Figuras 5 y 6 se presentan los espectros de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) de la miel crema almacenada a tres temperaturas (5, 15 y 25 °C) y de la miel cristalizada (materia prima), los cuales muestran una notable similitud. El rango de onda abarcado es de 400 a 4000 cm^{-1} , y se observa que los picos predominantes permanecen estables, lo que indica que no se ha producido formación ni desintegración de picos en las regiones analizadas. Es importante destacar que, aunque existe una variación en la absorbancia de los picos, esta puede atribuirse al tratamiento de emulsificación de la miel y a las temperaturas de almacenamiento. Por lo tanto, se puede deducir que los compuestos de amidas, proteínas y enlaces carboxílicos de los carbohidratos presentes en la miel han mantenido una estabilidad significativa.



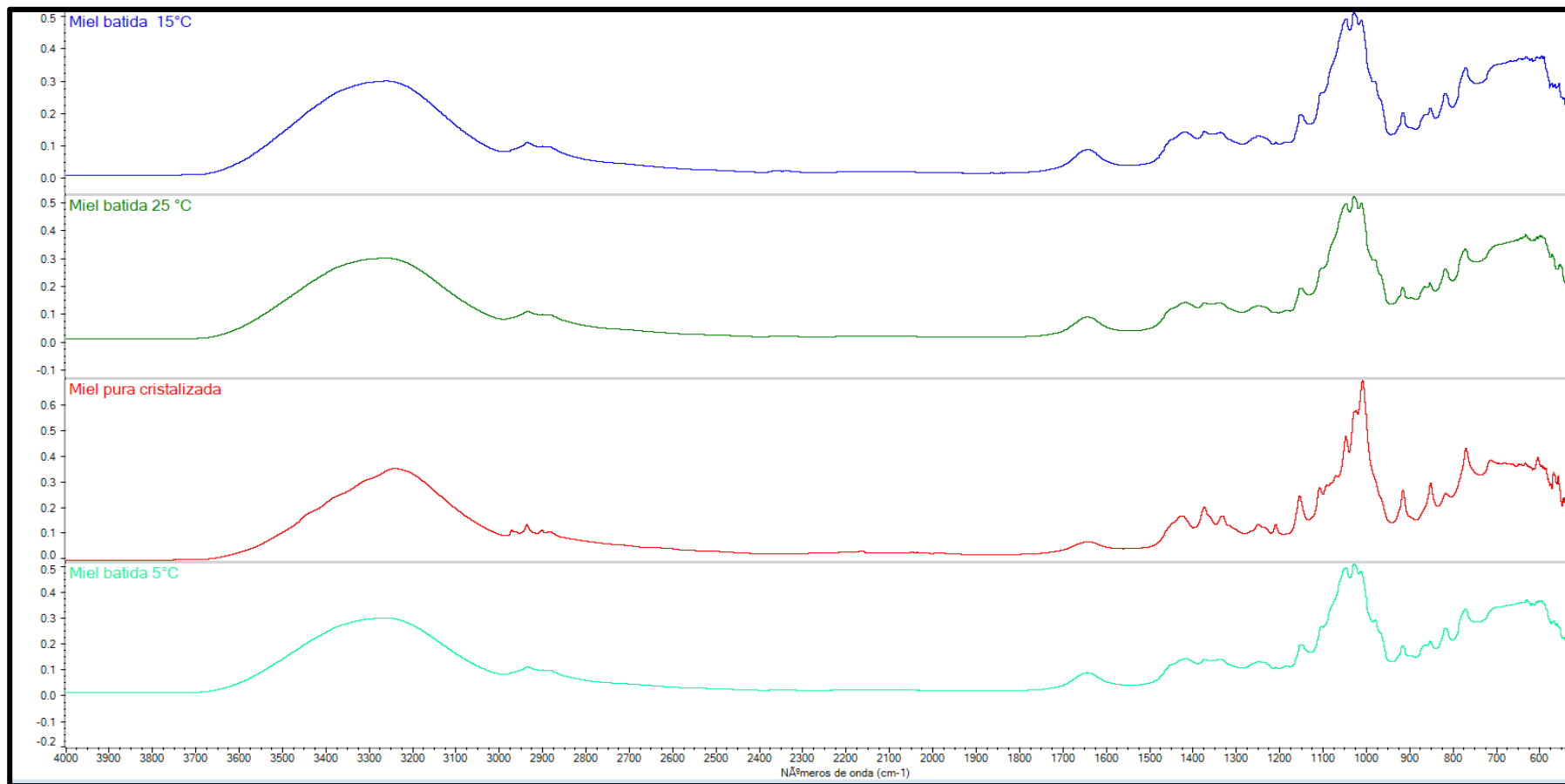


Figura 5 — Espectros FTIR- de miel crema a las temperaturas de 5, 15 y 25 °C y miel cristalizada

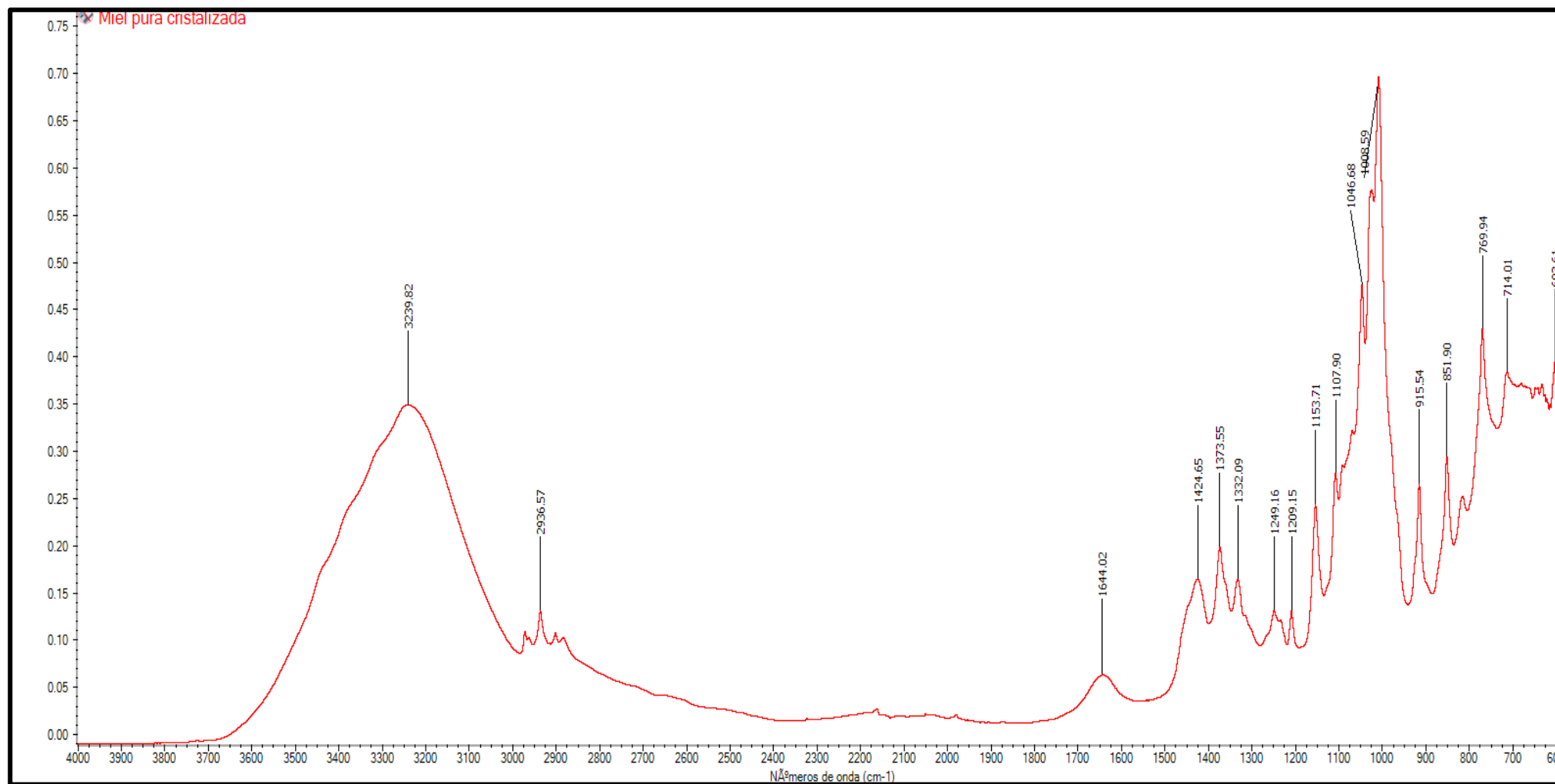


Figura 6 — Espectro FTIR de la miel cristalizada

En la Tabla 9, se detallan los rangos espectrales de 3800 a 700 cm^{-1} . El rango de 3650 a 3335 cm^{-1} corresponde a las vibraciones de estiramiento del grupo -OH presente en los carbohidratos, el agua y los ácidos orgánicos de la miel. Por otro lado, el rango de 3000 a 2800 cm^{-1} está asociado al estiramiento de los grupos C-H, tanto en compuestos aromáticos como en azúcares presentes en la muestra.

Tabla 9 — Compuestos detectados en la miel cristalizada

FTIR	
Número de longitud de onda (cm^{-1})	Tipos y origen en de las vibraciones
3800- 3332	Vibración de estiramiento (O-H) en H_2O
2975-2856	(C-H) en el grupo CH_2 y C H_3
2712	(NH_3) de aminoácidos libres
1734	(C=O)
1649	(O-H) en H_2O
1592 – 1455	(-O-CH) y (-C-C-H)
1410	(O-H) en el grupo C-OH estiramiento (C-H) en el los alquenos
1348	Estiramiento (-OH) en el grupo C-OH
1255 – 1193	Vibración (C-H) (C-O) en los carbohidratos
1105	Vibración (C-O) en los grupos C-O-C
1082 – 965	Vibración y estiramiento (C-O) en los grupos C-OH Vibración y estiramiento (C-C) en la estructura de los carbohidratos (C-H)
923 – 878	Vibración (C-C) en la estructura de los carbohidratos y deformación en (C-H)
862 – 727	Región anómero los carbohidratos o deformación (C-H)

B. Burbujas de miel crema

La Figura 7, muestra la uniformidad de burbujas que presenta la miel crema (mismo tiempo, pero con diferentes paletas) paleta (A) conocido con el nombre de paleta mezcladora (Ver Figura 61) paleta doble hélice (Ver Figura 62), se observa en (B) las burbujas más uniformes.

La comparación entre las paletas (A y B), se observa la diferencia en el tamaño y uniformidad de las burbujas; la paleta A muestra una variedad de tamaños de burbujas, lo que indica una heterogeneidad en la estructura de la miel crema. Por otro lado, la paleta B mostro una distribución uniforme de burbujas, con un tamaño similar, lo que sugiere una mayor consistencia y estabilidad en la miel crema.

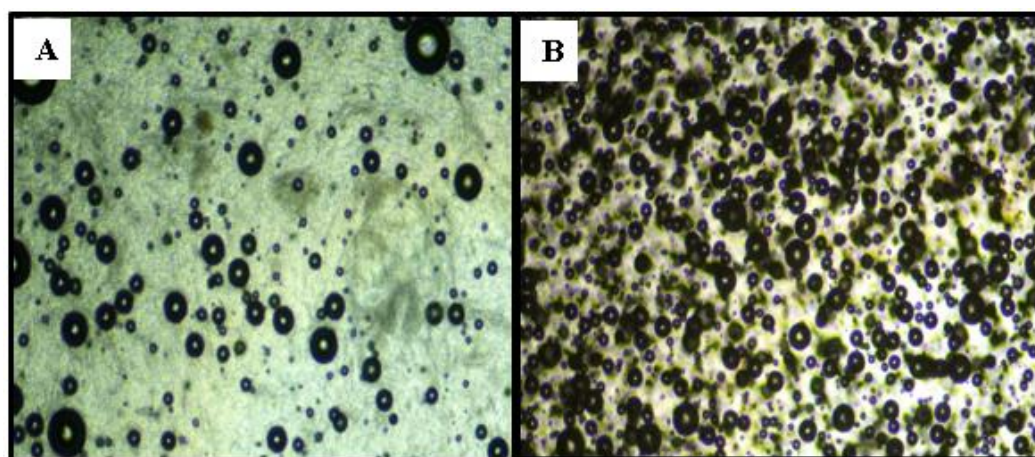


Figura 7 — Comparación de tamaño de burbujas (A) paleta mezcladora (B) paleta diseñada de doble hélice

5.1.2 Efectos en las características fisicoquímicas de la miel crema y miel cristalizada a diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento

A. Efectos de las características fisicoquímicas de miel crema

- **Variación de la acidez total en función de la temperatura**

Los resultados obtenidos indican que el porcentaje de acidez total durante el almacenamiento a diferentes temperaturas experimentó un incremento notable. A 5 °C, la acidez aumentó de 13,653 a 17,982 meq/Kg en un período de 160 días. A 15 °C, el aumento fue aún más significativo, pasando de 13,653 a 21,645 meq/Kg en 96 días. En contraste, a 25 °C, la acidez se

mantuvo relativamente estable, variando de 13,652 a 13,800 meq/Kg en un lapso de 16 días, como se muestra en la Figura 8.

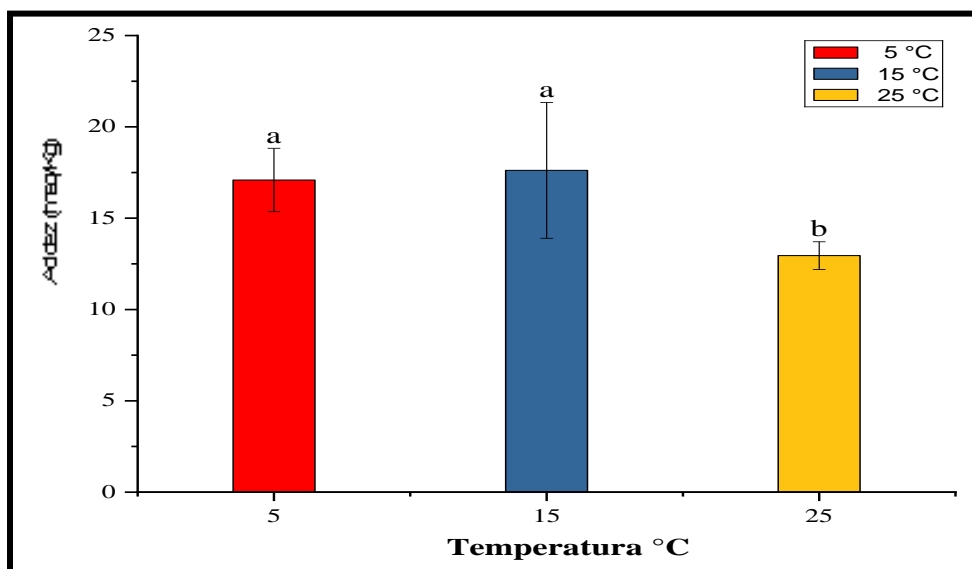


Figura 8 — Variación de la acidez en las temperaturas 5, 15 y 25 °C en miel crema

En el análisis de varianza realizado (ver Anexo 1), se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis debido a que los datos obtenidos son no paramétricos. Esta prueba permitió observar la variación de la acidez total en función de la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Se aplicaron las pruebas de rango de Tukey HSD con un nivel de confianza del 95 %. Los contrastes de acidez entre las diferentes temperaturas de almacenamiento mostraron una variación significativa, con un valor de P menor a 0,05 ($p < 0,05$). Esto indica que existe una variación en la acidez total a las temperaturas en estudio que fueron de 5, 15 y 25 °C.

- **Variación del pH en función por temperatura**

Se observa que el contenido de pH de la miel crema varió a diferentes temperaturas. A 5 °C, el pH fluctuó de 4,377 a 4,133 durante un tiempo de almacenamiento de 160 días. A 15 °C, la variación fue de 4,377 a 3,963 en un período de 96 días. En cambio, a 25 °C, el pH varió de 4,133 a 4,190 en

solo 16 días. Estos resultados indican que las temperaturas de 5 °C y 15 °C contribuyen a prolongar la estabilidad del pH en la miel crema.

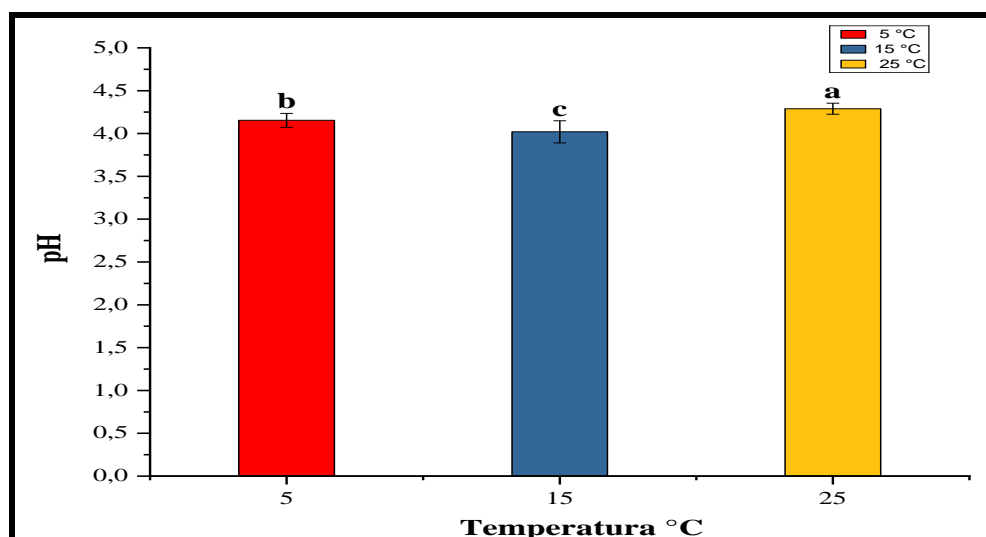


Figura 9 — Variación del pH en las temperaturas 5, 15 y 25 °C de miel crema

Como se puede observar en la Figura 9 (Ver Anexo 2), se analizaron las tres temperaturas de almacenamiento 5, 15 y 25 °C; de acuerdo al análisis de varianza por la prueba Kruskal- Wallis (datos no paramétricos) indica que la variación que causa la temperatura sobre el pH presentaron un P - valor menor a 0,05 ($p < 0,05$), por lo que existe una variación significativo sobre el contenido de pH en las diferentes temperaturas, realizando la prueba de Tukey, se observa que los variaciones en la temperatura de almacenamiento en el pH hace que las tres muestras sean estadísticamente diferentes, siendo la temperatura de 25 °C la que presenta mayor valor de pH.

- **Porcentaje de inhibición del radical libre ABTS sobre la temperatura**

El porcentaje de inhibición varió a diferentes temperaturas: a 5 °C, se observó una disminución del 48,352 % al 46,725 % en un tiempo de almacenamiento de 160 días; a 15 °C, el porcentaje de inhibición se redujo de 48,352 % a 38,280 % durante 96 días; mientras que, a 25 °C la variación fue de 48,352 % a 25,077 % en solo 16 días.

Los resultados indican que el porcentaje de inhibición disminuye con el aumento de la temperatura de almacenamiento. A temperaturas más bajas (5



°C), la disminución de la capacidad antioxidante fue menor, considerando que este fue el periodo más prolongado de almacenamiento (160 días). En contraste, a temperaturas más altas (25 °C), la capacidad antioxidante se redujo significativamente en un corto período de tiempo (16 días)

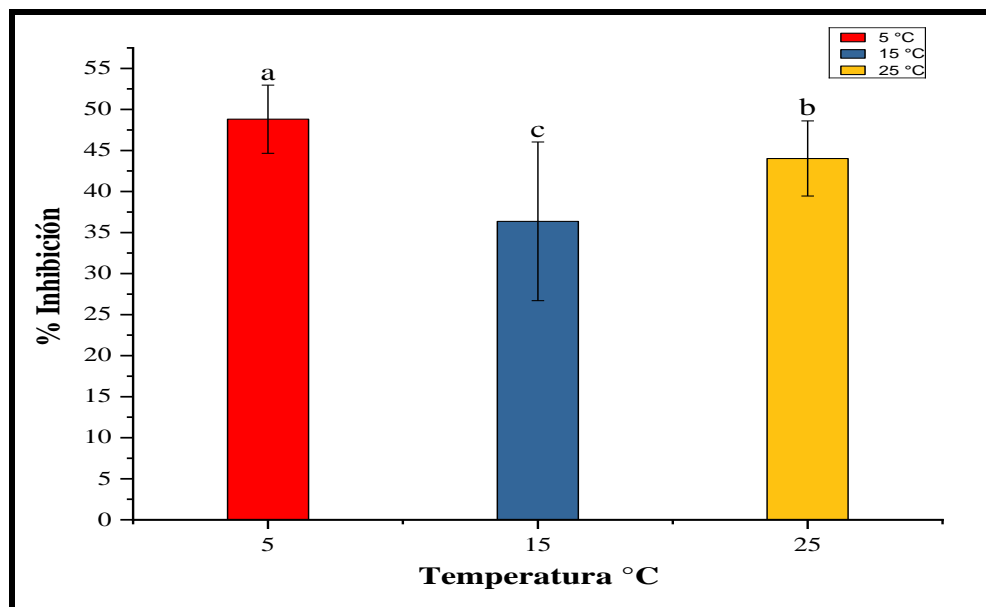


Figura 10 — Variación de porcentaje de inhibición en las temperaturas 5, 15 y 25 °C

Como se puede observar en la Figura 10 (ver Anexo 3, inciso b), se analizaron las temperaturas de almacenamiento de 5, 15 y 25 °C mediante la prueba de varianza de Kruskal-Wallis. Los resultados mostraron un valor de P menor a 0,05 ($p < 0,05$), lo que indica una variación significativa en el porcentaje de inhibición de la actividad antioxidante entre las diferentes temperaturas de almacenamiento. Esto sugiere que los valores obtenidos son estadísticamente distintos para las tres temperaturas evaluadas.

- **Acidez total en función del tiempo**

Como se puede observar en las Figuras 11, 12 y 13, donde se plotean los valores de acidez para cada bloque de tiempo (160, 96 y 16 días), las pruebas de Kruskal-Wallis indican que hay una variación en el tiempo en la acidez de todas las muestras es significativo. Luego, al realizar la prueba de Tukey se obtuvieron los grupos de tiempo que son estadísticamente diferentes y que se muestran en las figuras antes mencionadas.



En la Figura 11, se presenta los valores de análisis respecto al comportamiento de la acidez en un tiempo de 160 días de almacenamiento (temperatura 5 °C). En el día 0, se inició con un valor de 13,653 meq/Kg, hasta el día 80 hubo mayor incremento con un valor de 18,315 meq/Kg, a los días posteriores se mantuvo con una variación mínima, se finalizó en 160 días con un valor de 17,982 meq/Kg, en el cual presentó un crecimiento de porcentaje de acidez con respecto al tiempo de almacenamiento.

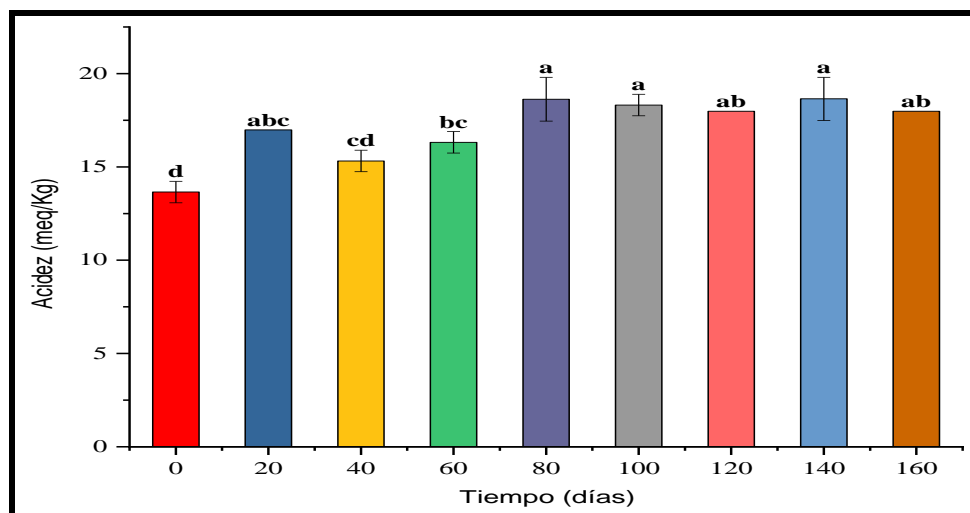


Figura 11 — Variación de acidez en un tiempo de 160

En la Figura 12, se presentan los valores de análisis respecto al comportamiento de la acidez en un tiempo de 96 días de almacenamiento (temperatura 15 °C). En el día 0, se inició con un valor de 13,653 meq/Kg, hasta el día 48 hubo mayor incremento con un valor de 20,646 meq/Kg, a los días posteriores se mantuvo con una variación mínima, se finalizó en 96 días con un valor de 21,645 meq/Kg de miel, donde se observó un mínimo aumento de porcentaje de acidez con respecto al tiempo de almacenamiento.



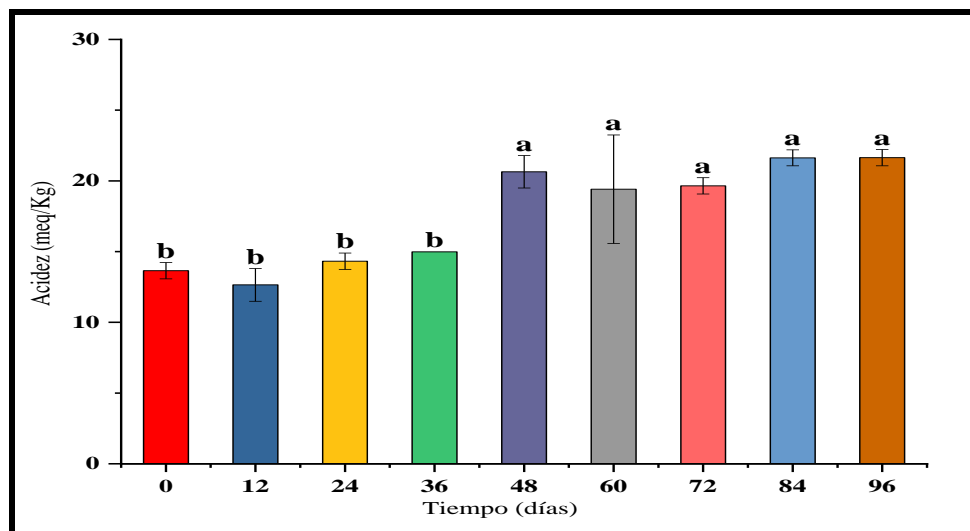


Figura 12 — Variación acidez en un tiempo de 96 días

En la Figura 13, se presenta los valores de análisis respecto al comportamiento de la acidez en un tiempo de 16 días de almacenamiento (temperatura 25 °C). En el día 0, se inició con un valor de 13,653 meq/Kg de miel, se finalizó en 16 días con un valor de 13,800 meq/Kg, donde se observó un mínimo aumento de porcentaje de acidez con respecto al tiempo de almacenamiento.

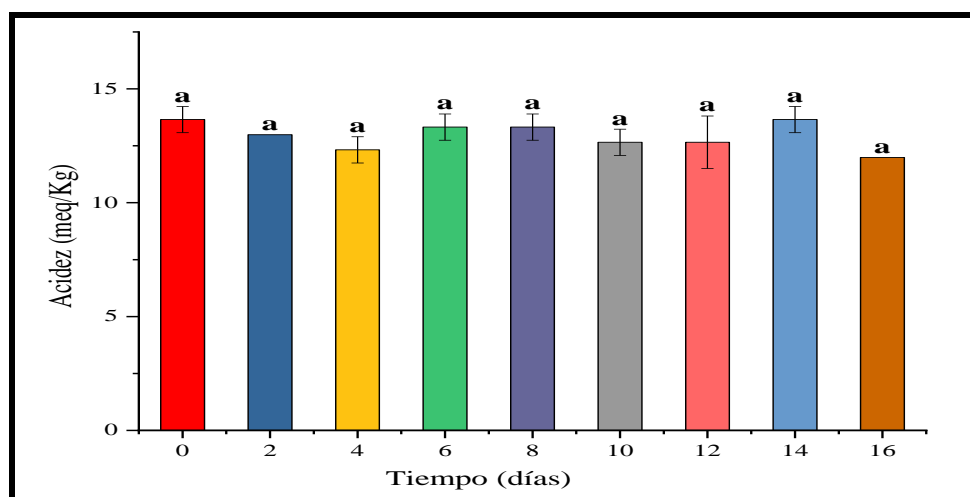


Figura 13 — Variación de acidez en un tiempo de 16 días

Al realizar la prueba de Kruskal – Wallis, estadísticamente mostraron que, a diferentes tiempos de almacenamiento (160, 96 y 16 días), presentaron una variación significativa puesto que el P-valor es menor que 0,05 ($p < 0.05$) sobre el contenido del porcentaje de acidez.

e) **pH en función del tiempo**

Como se puede observar en las Figuras 14, 15 y 16, que presentan los valores de pH para cada bloque de tiempo (160, 96 y 16 días), las pruebas de Kruskal-Wallis indican que la variación en el contenido de pH de todas las muestras es significativa en relación con el tiempo de almacenamiento. Al aplicar la prueba de Tukey, se identificaron los grupos de tiempo que son estadísticamente diferentes, los cuales se muestran en las figuras mencionadas.

En la Figura 14, se analizan los valores del pH durante un período de almacenamiento de 160 días a una temperatura de 5 °C. El pH comenzó en un valor de 4,377 y finalizó en 4,133 al cabo de 160 días, lo que refleja una ligera disminución en el pH a lo largo del tiempo de almacenamiento.

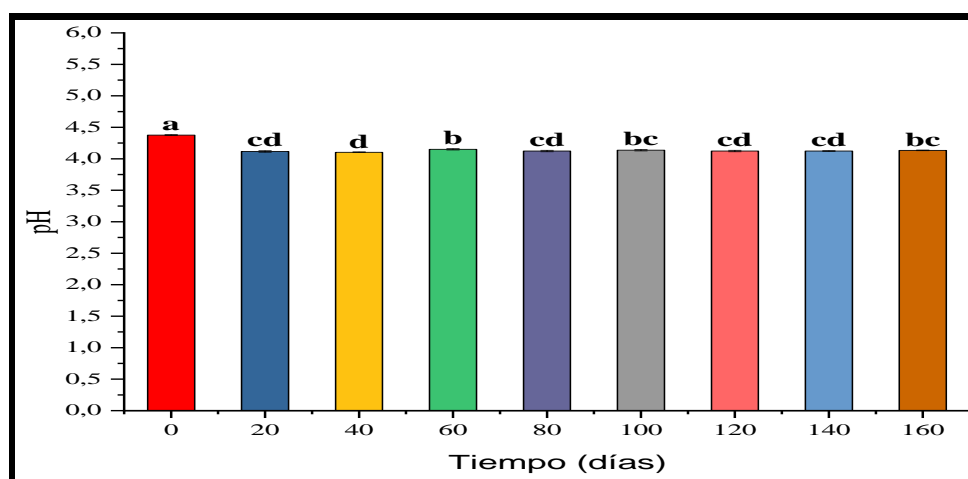


Figura 14 — Variación del pH en el tiempo de 160 días

En la Figura 15, se presenta los valores de análisis respecto al comportamiento del pH, en un tiempo de 96 días de almacenamiento (temperatura 15 °C). En el día 0, se inició con un valor de 4,377 pH es y finalizó el día 96 con un valor 3,963 de pH es igual a, se observó un decaimiento del pH con respecto al tiempo de almacenamiento.



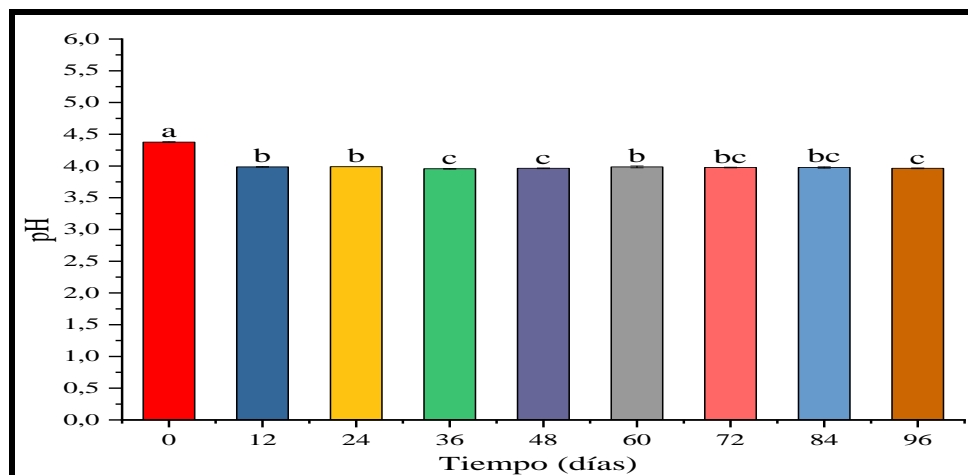


Figura 15 — Variación del pH en un tiempo de 96 días

En la Figura 16, se presenta los valores de análisis respecto al comportamiento del pH, en un tiempo de 16 días de almacenamiento (temperatura 25 °C). En el día 0, se inició con un valor de 4,377 pH y finalizó el día 16 con un valor 4,190 pH, se observó un cambio negativo del pH con respecto al tiempo de almacenamiento.

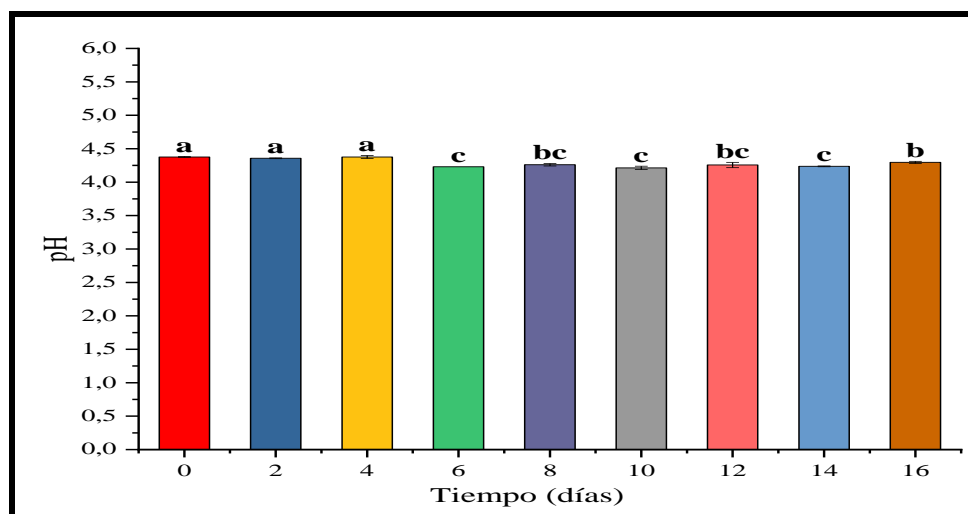


Figura 16 — Variación del pH en un tiempo de 16 días

f) Porcentaje de Inhibición función del tiempo

En la siguiente Figura 17, se muestra los valores de análisis respecto a la variación de porcentaje de inhibición, en un tiempo de 160 días de almacenamiento (temperatura 5 °C). Se inició con un valor de 48,352 % de inhibición y finalizó el día 160 con un valor de 46,725 % de inhibición

observó un cambio negativo del porcentaje de inhibición respecto al tiempo de almacenamiento.

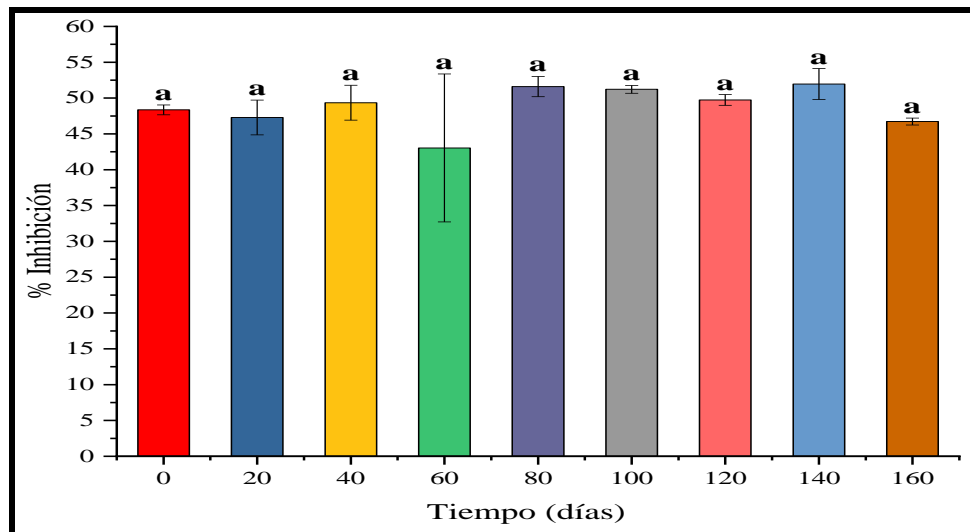


Figura 17 — Variación de porcentaje de inhibición en un tiempo de 160 días

En la siguiente Figura 18, se muestra los valores de análisis respecto a la variación de porcentaje de inhibición, en un tiempo de 96 días de almacenamiento (temperatura 15 °C). En el día 0 se inició con un valor de 48,352 % de inhibición y finalizó el día 96 con un valor de 38,280 % de inhibición observó una reducción del % de inhibición con respecto al tiempo de almacenamiento.

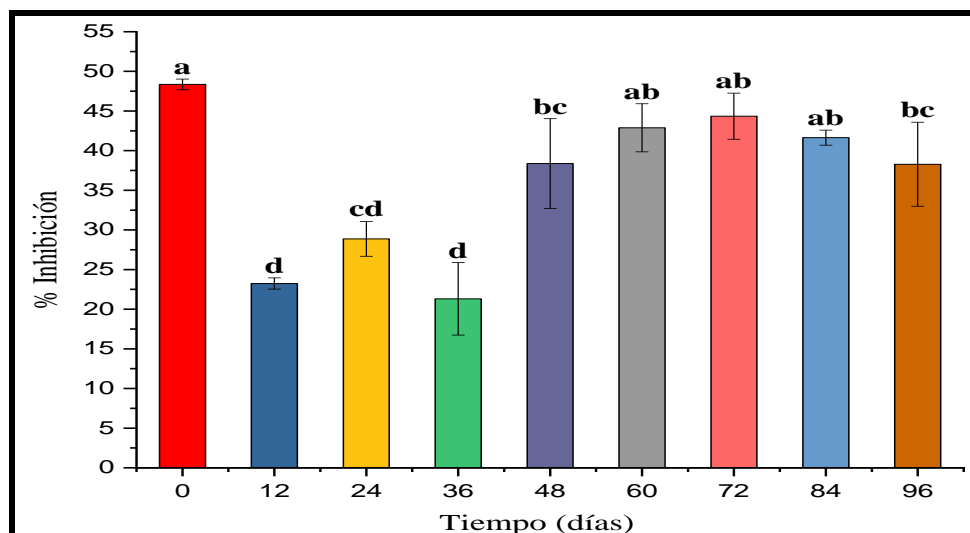


Figura 18 — Variación del porcentaje de inhibición en un tiempo de 96 días



En la Figura 19, se muestra los valores de análisis respecto al variación de porcentaje de inhibición, en un tiempo de 16 días de almacenamiento (a una temperatura 25 °C). En el día 0, se inició con un valor de 48,352 % de inhibición y finalizo el día 16 con un valor de 36,348 % de inhibición observó una reducción del % de inhibición con respecto al tiempo de almacenamiento.

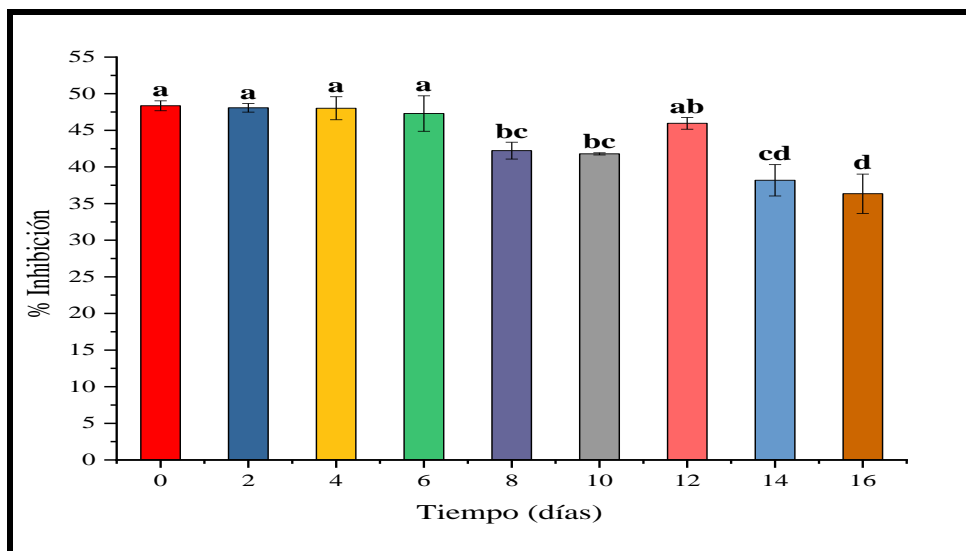


Figura 19 — Variación de porcentaje de inhibición en función al tiempo de 16 días

Como se puede observar en las Figuras 17,18 y 19 se almacenan a tiempos de 160, 96 y 16 días a diferentes temperaturas el porcentaje de inhibición en el tiempo de almacenamiento, puesto que el p-valor es menor a 0,05 (Ver Anexo 6). La prueba Kruskal- Wallis indica si existe una variación en el tiempo en el % de inhibición de la actividad antioxidante es significativo.

B. Variación de las características fisicoquímicas de miel cristalizada sobre la temperatura y tiempo de almacenamiento

a. Acidez en función de la temperatura

La acidez de la miel cristalizada varió a diferentes temperaturas. A 5 °C, se registró un aumento de 14,652 a 14,989 meq/Kg durante un tiempo de almacenamiento de 160 días. A 15 °C, el contenido de acidez fluctuó de 14,652 a 19,980 meq/Kg en 96 días, mientras que a 25 °C la variación fue de 14,952 a 15,989 meq/Kg en un periodo de 16 días.



Se observó que el porcentaje de acidez de la miel cristalizada incrementa a temperaturas más bajas, mientras que a 25 °C se mantuvo relativamente estable. Este comportamiento se atribuye al tiempo de almacenamiento.

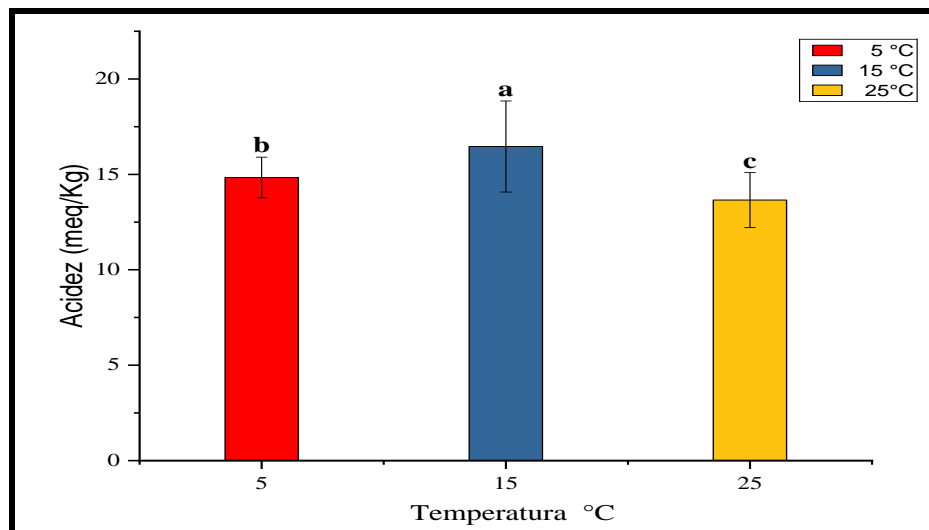


Figura 20 — Variación de la acidez en temperaturas a las 5, 15 y 25 °C

Como se puede observar en la Figura 20, se tienen temperaturas de 5, 15 y 25 °C para datos de acidez, puesto que p-valor es menor a 0,05 (Ver Anexo 7). La prueba Kruskal- Wallis nos indica, que hay una variación en la temperatura con respecto al porcentaje de acidez es significativo, y haciéndoles la prueba de ranking, se observa que se trata de tres grupos distintos estadísticamente.

b) pH en función de la temperatura para la miel cristalizada

El contenido de pH en función a la temperatura la miel cristalizada a diferentes temperaturas tuvo variación de 4,207 a 4,210 de pH, a una temperatura de 5 °C de (tiempo de almacenamiento de 160 días). A 15 °C hubo una variación de 4,207 a 4,190 de pH (tiempo de almacenamiento de 96 días); a 25 °C hubo una diferencia de 4,207 a 4,247 de pH (tiempo de almacenamiento 16 días).



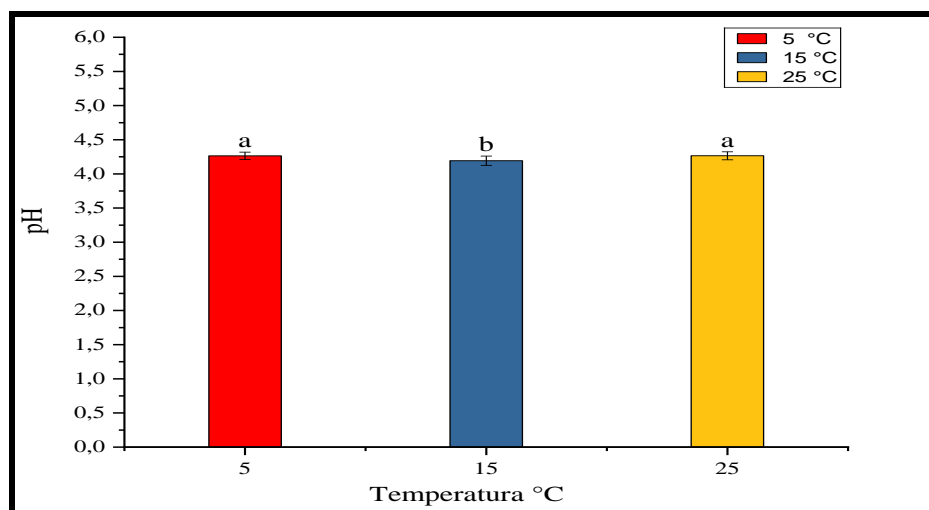


Figura 21 — Variación de pH por temperaturas de 5, 15 y 25 °C

En la Figura 21, se observa la variación con respecto a la temperatura en el pH de la miel cristalizada, al realizar la prueba de varianza por Kruskal-Wallis y tener el p-valor menor a 0,05 (Ver Anexo 8). Indica que la temperatura afecta significativamente en el contenido de pH, se arman dos grupos estadísticamente diferentes.

c) Porcentaje de Inhibición por temperatura para la miel cristalizada

El porcentaje de inhibición en la miel cristalizada a diferentes temperaturas se observó una tendencia negativa a 5 °C, se inició con un valor de 51,133 % de inhibición y finalizó con un valor 29,621 % de inhibición (tiempo de almacenamiento de 160 días). A 15 °C presento una variación de 51,133 a 51,718 % de inhibición (tiempo de almacenamiento de 96 días); a 25 °C hubo una variación de 51,133 a 25,077 % de inhibición (tiempo de almacenamiento de 16 días).



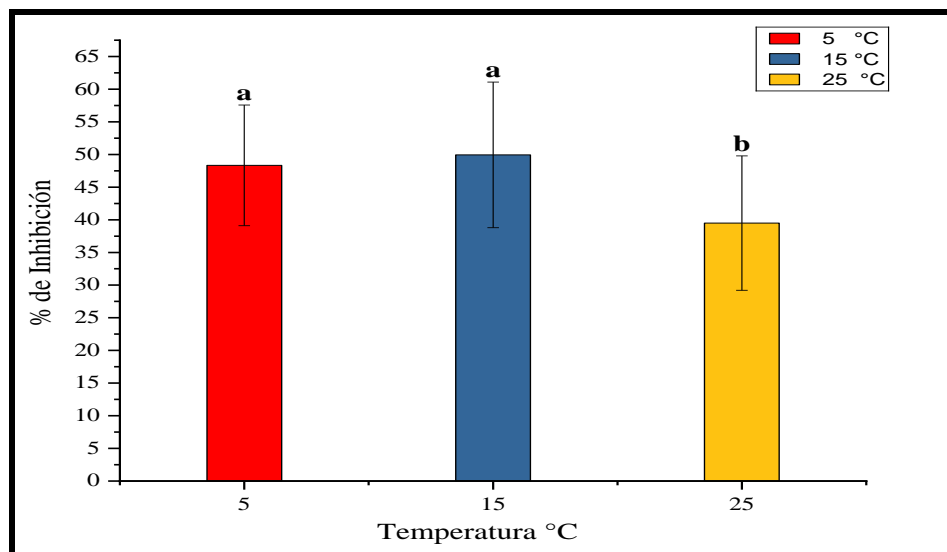


Figura 22 — Variación de porcentaje de Inhibición en las temperaturas de 5, 15 y 25 °C

La miel cristalizada a diferentes temperaturas mostro una variación de disminución en el porcentaje de inhibición como se muestra en la Figura 22, al realizar la prueba de varianza por Kruskal- Wallis y tener el p-valor menor a 0,05 (Ver Anexo 9), las pruebas estadísticas indican que la temperatura afecta significativamente al porcentaje de inhibición de la actividad antioxidante.

d) Porcentaje de acidez por el tiempo para la miel cristalizada

En la Figura 23, se presenta los resultados del análisis de la variación de la acidez a lo largo de un periodo de 160 días de almacenamiento a una temperatura de 5 °C; se inició el análisis con un valor de 14,652 meq/Kg, sin embargo se observó un mayor incremento en el lapso de 80 días hasta alcanzar un valor de 16,983 meq/Kg; a los días posteriores presento una variación descendente, se finalizó en 160 días con un valor de 14,984 meq/Kg. En los resultados de los análisis indican un incremento porcentual de acidez a medida que transcurre los días de almacenamiento.



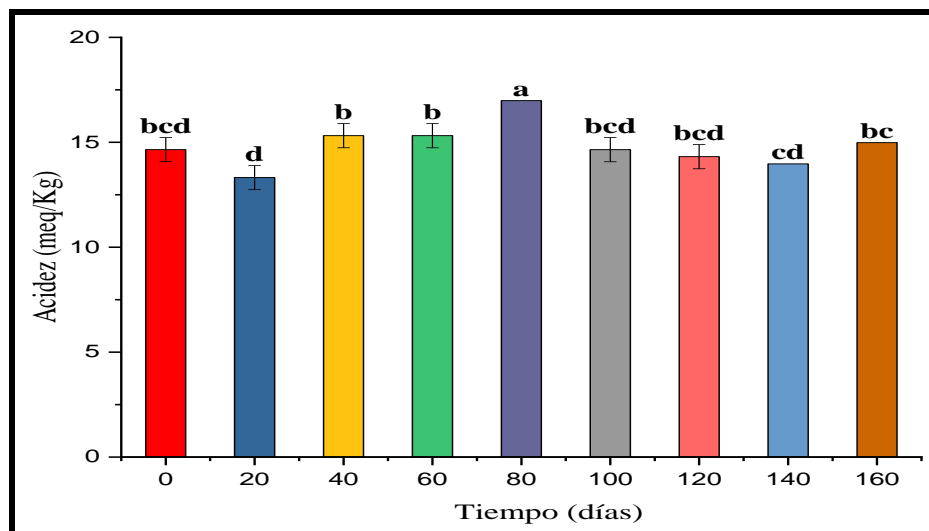


Figura 23 —Variación de acidez en un tiempo de 160 días

En la Figura 24, se presenta los valores de análisis respecto al comportamiento de porcentaje de acidez en un tiempo de 96 días de almacenamiento (temperatura 15 °C). En el día 0, se inició con un valor de 14,652 meq/Kg y se finalizó en 96 días con un valor de 19,980 meq/Kg, donde se observó un incremento de porcentaje de acidez con respecto al tiempo de almacenamiento.

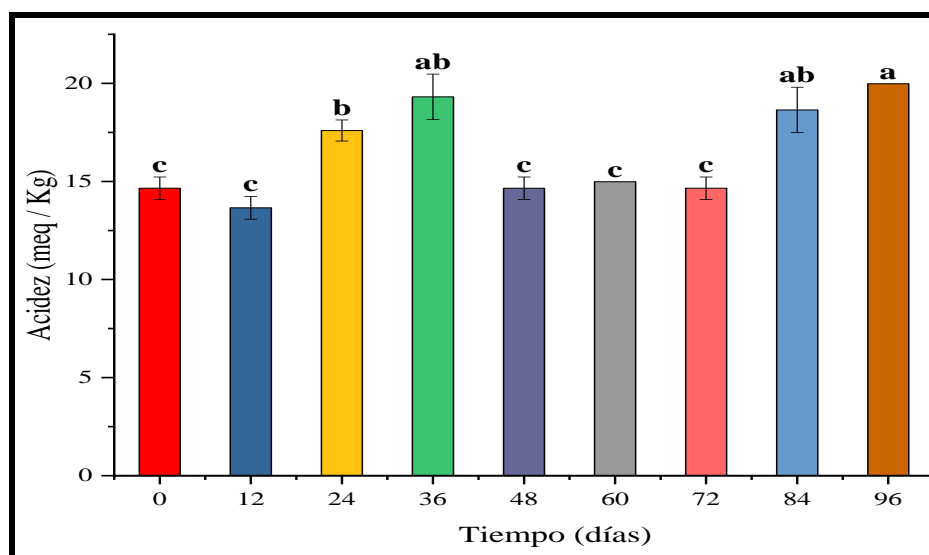


Figura 24 —Variación de la acidez en un tiempo de 96 días

En la Figura 25, se presenta los valores de análisis respecto al comportamiento de la acidez en un tiempo de 16 días de almacenamiento (temperatura 25 °C). En el día 0, se inició con un valor de 14,652 meq/Kg,

se finalizó en 16 días con un valor de 15,984 meq/Kg, donde se observó un mínimo aumentó de porcentaje de acidez con respecto al tiempo de almacenamiento.

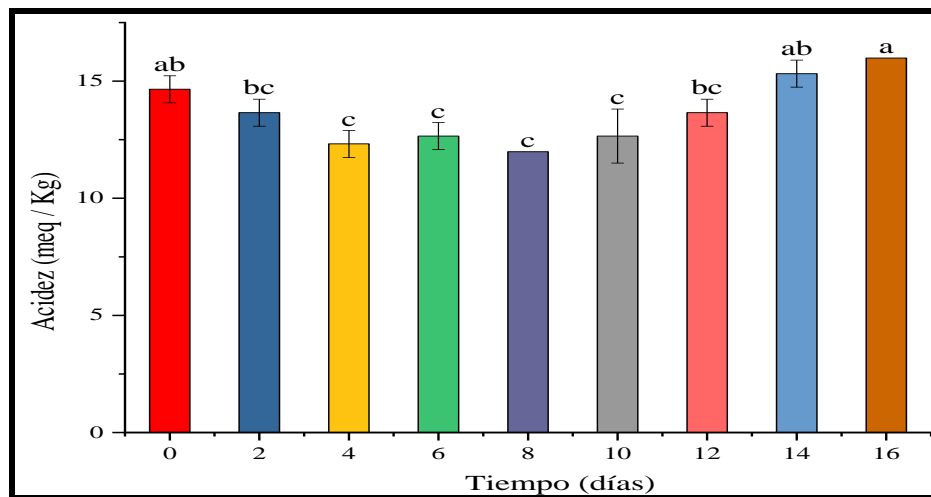


Figura 25 — Variación de la acidez en tiempo de 16 días

En las siguientes Figuras 23, 24 y 25 se presenta la variación en el tiempo en cada bloque de miel cristalizada al realizarle la varianza mediante la prueba Kruskal- Wallis este indica la variación que causa la temperatura en la acidez para la miel cristalizada es significativo puesto que el p-valor es menor a 0,05.

e) pH en función del tiempo para la miel cristalizada

En la Figura 26, se presenta los valores de análisis respecto al comportamiento del pH, en un tiempo de 160 días de almacenamiento (5 °C). En el día 0, se inició con un valor de pH es 4,207 y finalizo el día 160 con un valor de pH es igual a 4,210, se observa por lo tanto hay una ligera disminución del pH a lo largo del tiempo de almacenamiento.



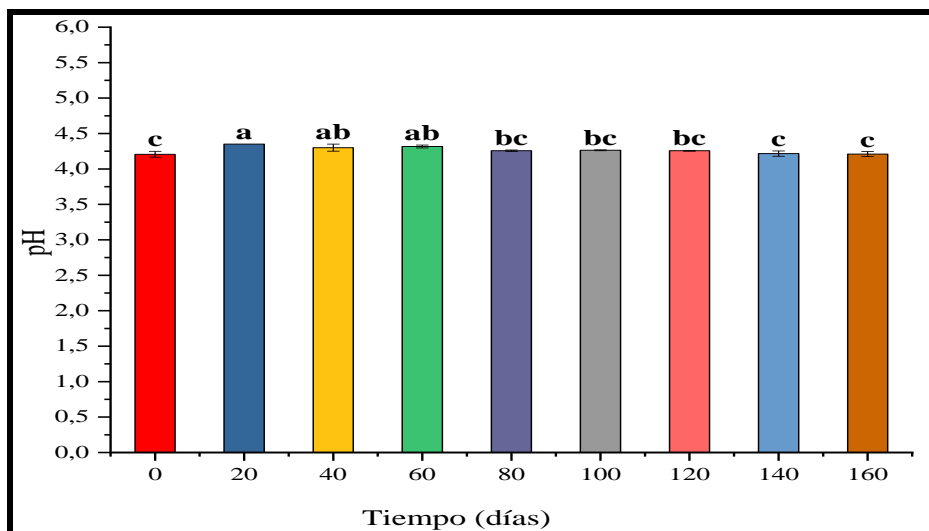


Figura 26 — Variación de pH en función al tiempo de 160 días

En la Figura 27, se presenta los resultados de los análisis respecto al comportamiento del pH, en un periodo de 96 días de almacenamiento a una temperatura 15 °C. Se inició con un valor de 4,207 de pH y finalizó a los 96 días con un valor de 4,093 de pH, se observó un decaimiento del pH con respecto al tiempo de almacenamiento.

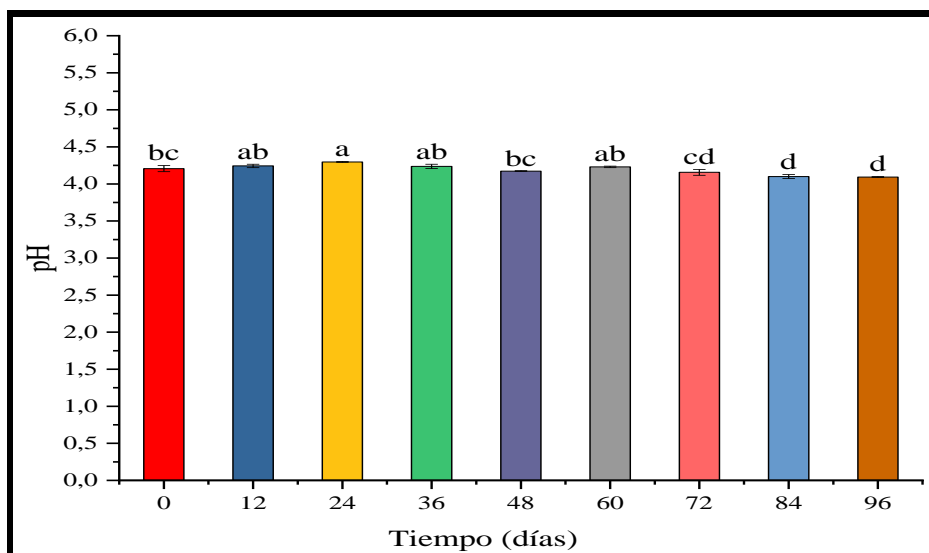


Figura 27 — Variación de pH en función al tiempo de 96 días

En la Figura 28, se presenta los resultados de los análisis respecto al comportamiento del pH, en un periodo de 16 días de almacenamiento a una temperatura 25 °C. En el día 0, se inició con un valor de 4,207 de pH



es y finalizó el día 16 con un valor de 4,247 de pH, se observó ligero incremento del pH con respecto al tiempo de almacenamiento.

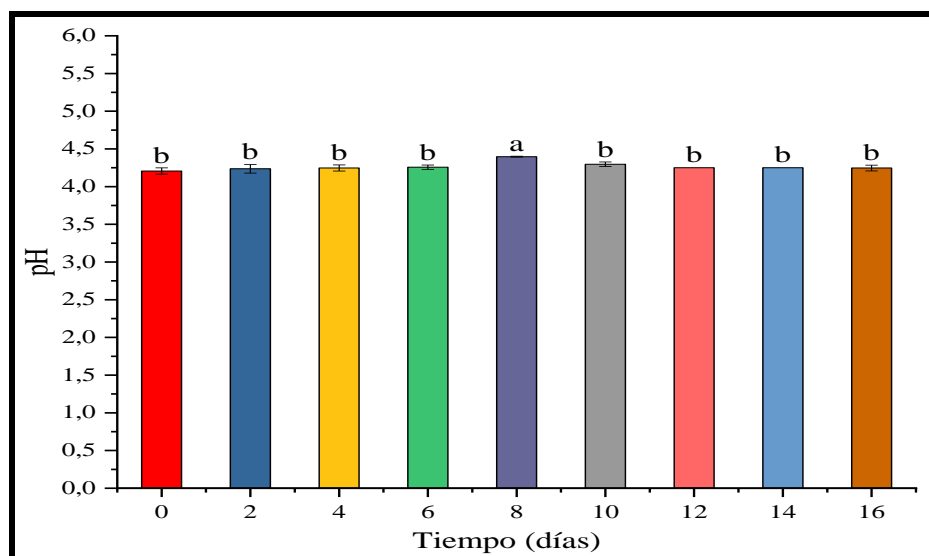


Figura 28 — Variación de pH en función al tiempo de 16 días

En las Figuras 26, 27 y 28 muestran la variación en el tiempo en cada bloque de miel cristalizada al realizarle la varianza mediante la prueba Kruskal- Wallis este indica una variación que causa el tiempo en el pH para la miel cristalizada. La variación en el tiempo es significativa puesto que el p-valor es menor a 0,05. Una característica resaltante es que el pH se mantiene estable en todas las experimentaciones para la miel cristalizada a diferencia de la miel crema.

f) Porcentaje de Inhibición de ABTS en función del tiempo para la miel cristalizada

En la Figura 29, se presenta los valores de análisis respecto al variación de porcentaje de inhibición, en un tiempo de 160 días de almacenamiento (temperatura 5 °C). En el día 0, se inició con un valor de 51,133 % de inhibición y finalizó el día 160 con un valor de 29,621 % de inhibición observó un cambio negativo del % de inhibición con respecto al tiempo de almacenamiento.



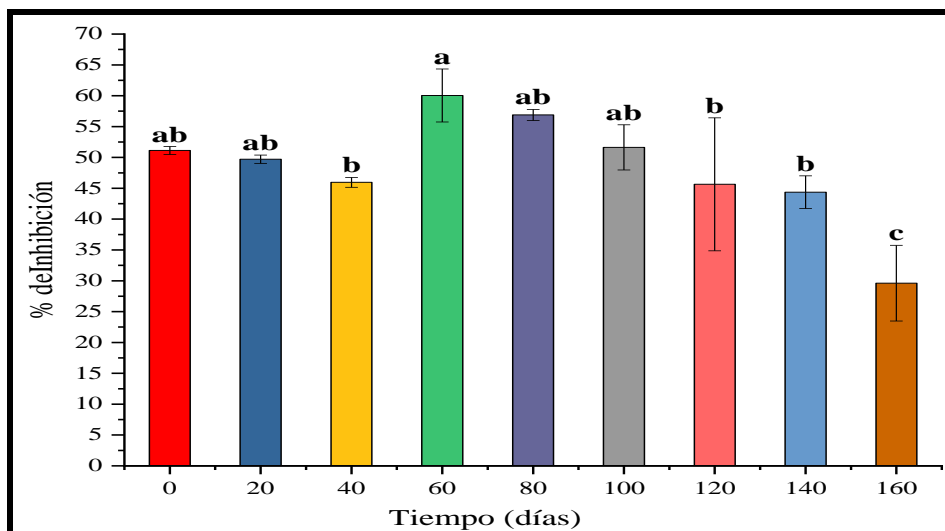


Figura 29 —Variación de porcentaje de inhibición en función del tiempo 160 días

En la siguiente Figura 30, se presenta los valores de análisis respecto al variación de porcentaje de inhibición, en un tiempo de 96 días de almacenamiento (a una temperatura 15 °C). En el día 0 se inició con un valor de 51,133 % de inhibición y finalizo el día 96 con un valor de 59,718 % de inhibición observó una reducción del % de inhibición con respecto al tiempo de almacenamiento.

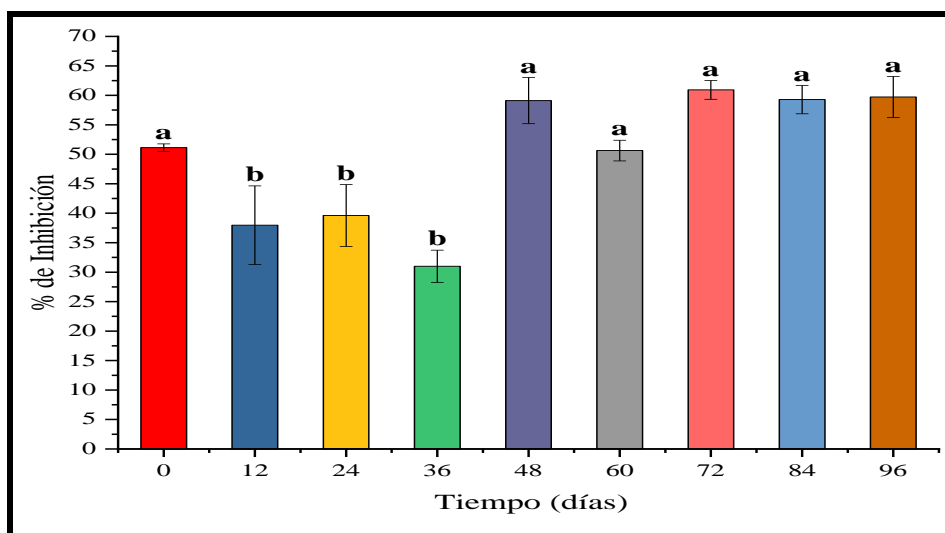


Figura 30 — Variación de % de Inhibición en función del tiempo 96 días

En la Figura 30, se muestra los valores de análisis respecto al variación de porcentaje de inhibición, en un tiempo de 16 días de almacenamiento (a



una temperatura 25 °C). En el día 0, se inició con un valor de 51,133 % de inhibición y finalizó el día 16 con un valor de 25,077 % de inhibición observó una reducción del % de inhibición con respecto al tiempo de almacenamiento.

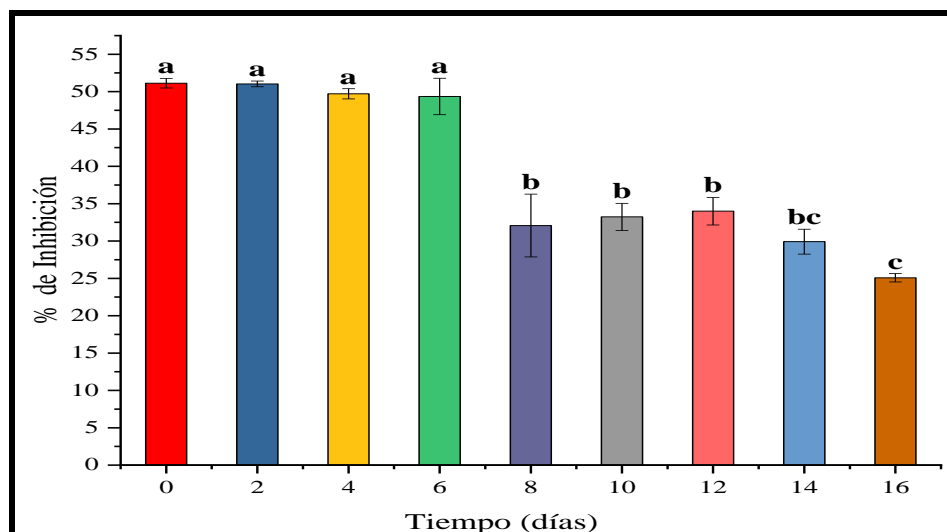


Figura 31 — Variación de % de Inhibición en función del tiempo 16 días

En las Figuras 29, 30 y 31 se observa una variación que causa el tiempo de almacenamiento en el porcentaje de inhibición de la actividad antioxidante, La prueba Kruskal- Wallis reporta un p-valor menor a 0,05. Por lo que la variación es significativa en esta variable, realizando la prueba de Ranking se observa que para el bloque de 160 días se han formado dos grupos estadísticamente diferentes, para el bloque de 96 días dos grupos y finalmente para el bloque de 16 días hay tres grupos estadísticamente diferente.

5.3.1 Análisis de parámetros cinéticos de orden de reacción (n) y energía de activación (Ea) de la miel crema

El estudio de la vida útil de miel crema se realizó mediante el método de pruebas aceleradas utilizando la ecuación de Arrhenius para cada tiempo (160, 96 y 16 días) a temperatura de almacenamiento (5, 15 y 25 °C), se realizó la determinación de las cinéticas de degradación para las variables con los valores de hidroximetilfurfural, viscosidad y luminosidad.



A. Determinación del orden de reacción de la Hidroximetilfurfural, Viscosidad y L* (luminosidad)

- Determinación de hidroximetilfurfural (mg/l de miel crema) en miel crema a diferentes tiempos y temperaturas:

Para determinar la vida útil de la miel crema, se predijo el orden de reacción. En la Figura 32 se presentan los valores de la cinética de incremento del hidroximetilfurfural (HMF) (mg/l) durante el tiempo de almacenamiento. Se llevó a cabo un análisis de regresión lineal simple en función de las temperaturas (5, 15 y 25 °C) y los tiempos de almacenamiento (160, 96 y 16 días). Los valores de HMF almacenados en condiciones de temperatura controlada no superan el límite máximo establecido por las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

Las concentraciones de hidroximetilfurfural aumentaron en las tres temperaturas, comenzando con un valor inicial de 10,8 mg/l de HMF. Almacenada a 5 °C, la miel crema alcanzó un valor final de 25,6 mg/l; a 15 °C, el valor fue de 20,8 mg/l; y a 25 °C, se registró un valor de 16,5 mg/l. Estos resultados indican que tanto el tiempo como la temperatura de almacenamiento afectan la calidad de la miel crema.

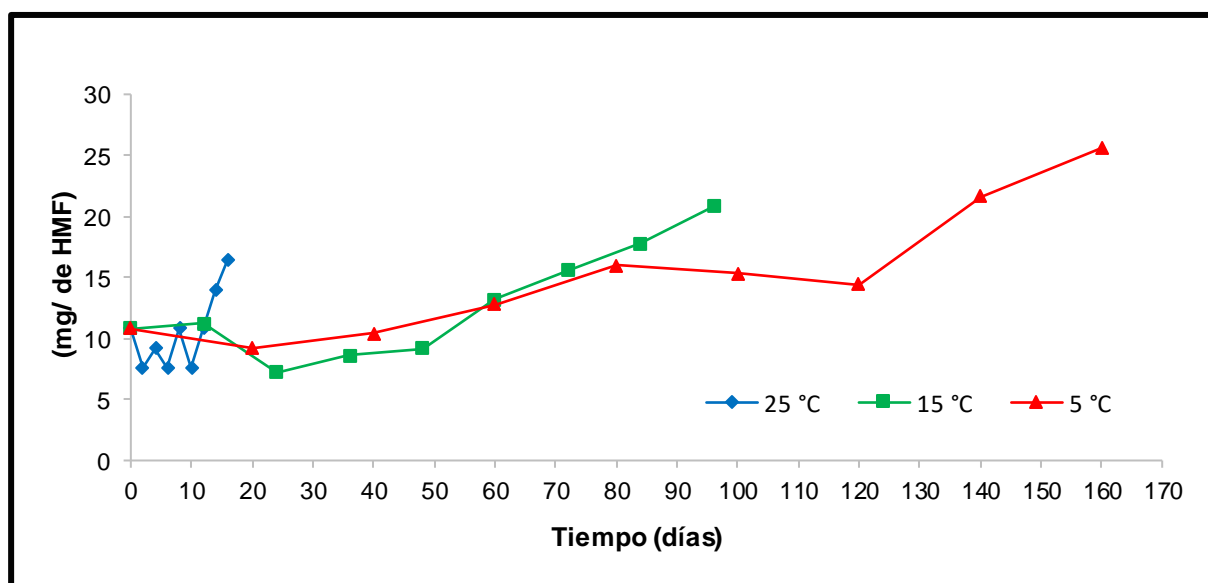


Figura 32 — Evaluación de incremento de incremento (HMF) en la miel crema en almacenamiento de a temperaturas de 5, 15 y 25 °C versus tiempos a 160, 96 y 16 días

La Figura 33, muestra se muestra el incremento de Ln (hidroximetilfurfural) en la miel crema donde se observa en la Tabla 63, en las temperaturas (5, 15 y 25 °C) y en el tiempo de (160, 96 y 16 días) en el cual se observa incremento de hidroximetilfurfural en el tiempo de almacenado.

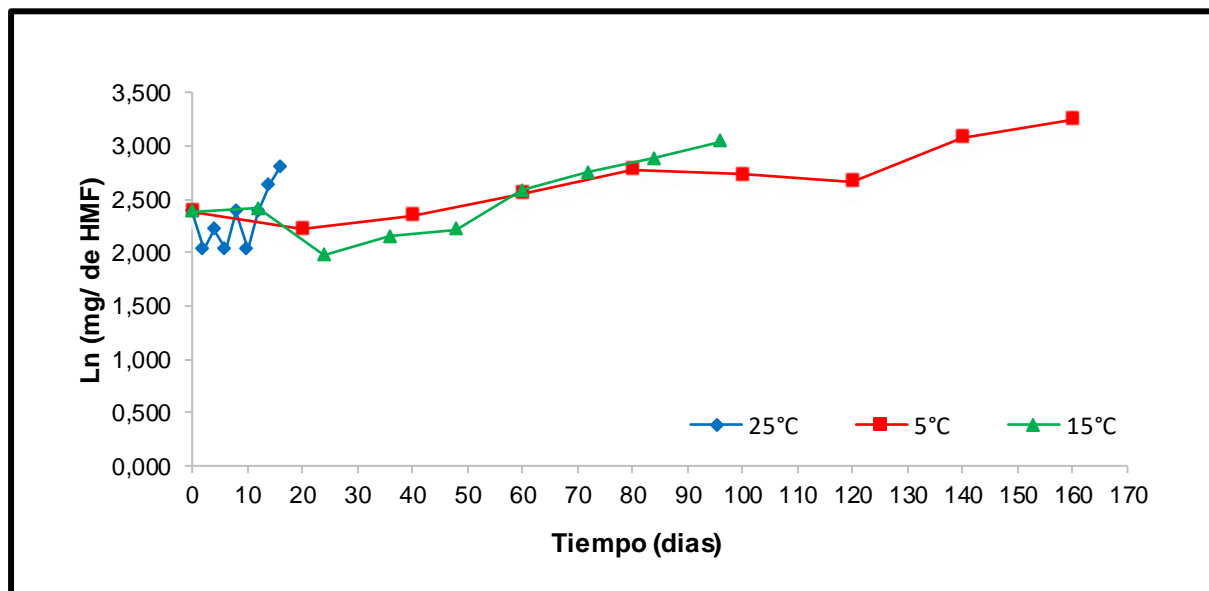


Figura 33 — Evaluación de incremento de Ln(HMF) en la miel crema en almacenamiento de a temperaturas de 5, 15 y 25 °C, tiempos de 160, 96 y 16 días

- **Determinación de viscosidad (Pa.s) en miel crema a diferentes tiempos y temperaturas:**

La Figura 34, se muestra el comportamiento de la viscosidad (Pa.s) en la miel crema donde se observa en la Tabla 64, en las temperaturas (5, 15 y 25 °C) y en el tiempo (160, 96 y 16 días) en el cual se observa incremento de viscosidad (Pa.s) en el tiempo y temperatura de almacenado, se utilizó el Excel para las gráficas correspondientes.

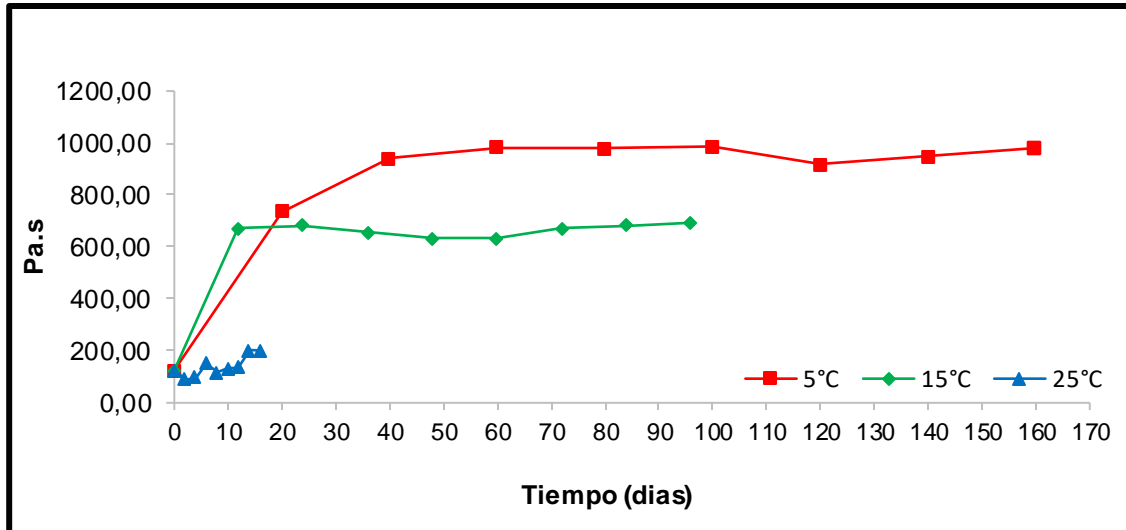


Figura 34 — Evaluación de incremento de viscosidad en la miel crema en almacenamiento de a temperaturas de 5, 15 y 25 °C versus tiempos de 160, 96 y 16 días

En la Figura 35, se muestra el comportamiento de la viscosidad de la miel crema (Tabla 65), en las temperaturas (5, 15 y 25 °C) y en el tiempo (160, 96 y 16 días) en el cual se observa incremento de viscosidad en el tiempo y temperatura de almacenado, se utilizó el Excel para las gráficas correspondientes.

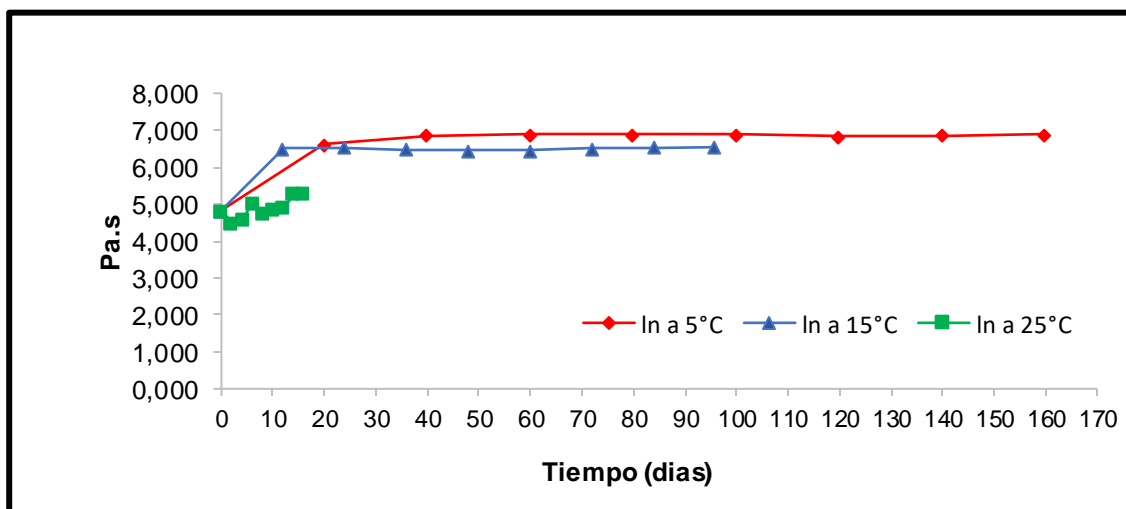


Figura 35 — Evaluación de incremento de ln(Pa.s) viscosidad en la miel crema en almacenamiento de a temperaturas de 5, 15 y 25 °C, tiempos de 160, 96 y 16 días

- **Determinación de color (luminosidad) en miel crema a diferentes tiempos y temperaturas:**

La Figura 36, muestra la degradación de luminosidad en la miel crema los datos fueron tomados de la Tabla 66, en las temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días), se observa una degradación de luminosidad en el tiempo y temperatura de almacenado.

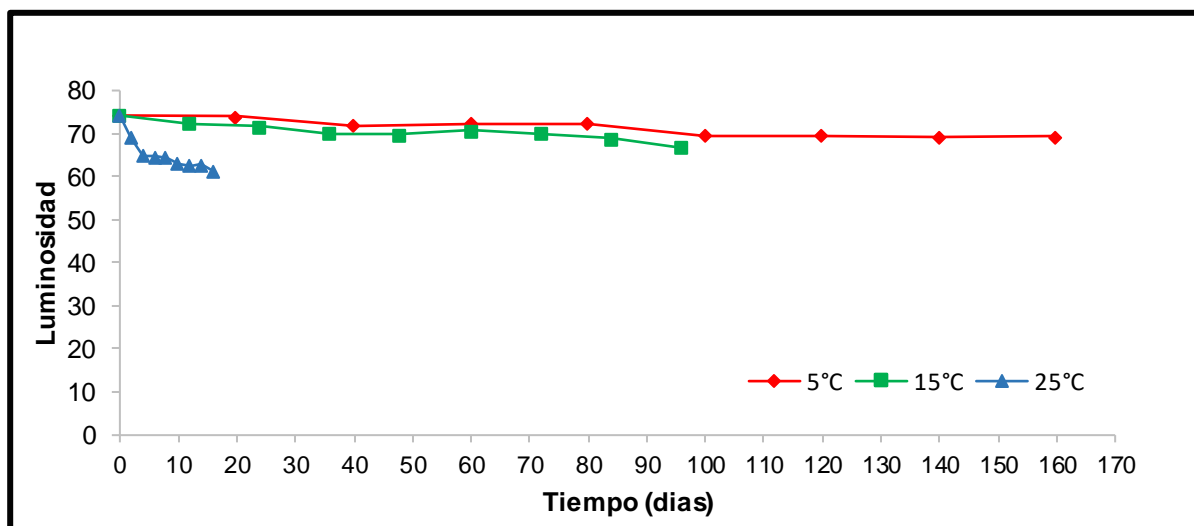


Figura 36 — Degradación de L* (luminosidad) en la miel crema a temperaturas de 5, 15 y 25 °C y tiempos de 160, 96 y 16 días

La Figura 37, muestra la degradación de ln (luminosidad) en la miel crema los datos fueron tomados de la Tabla 67, a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días).

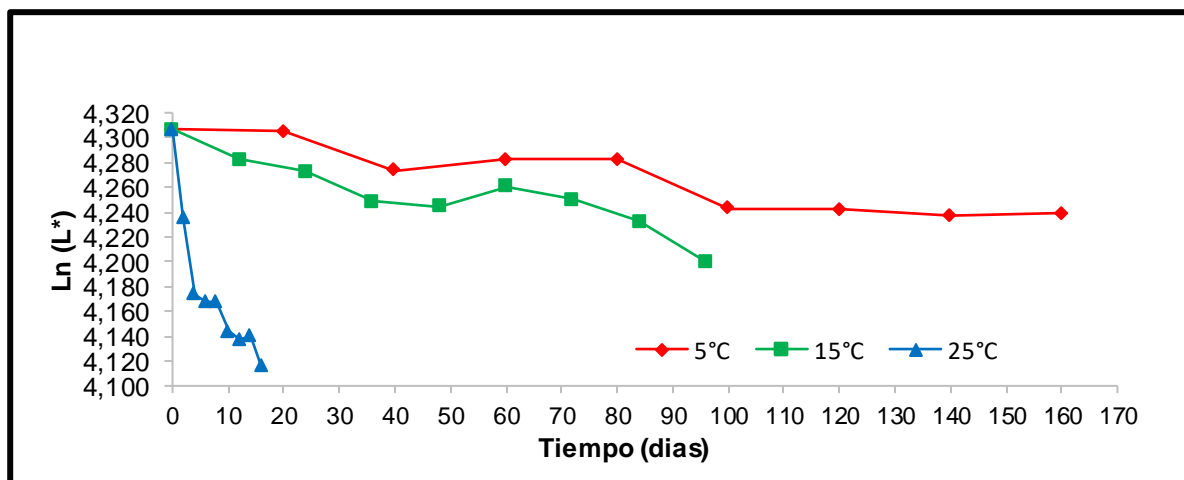


Figura 37 — Degradación de ln (L*) en la miel crema a temperaturas de 5, 15 y 25 °C y tiempos de 160, 96 y 16 días

Las evaluaciones de hidroximetilfurfural, viscosidad y luminosidad a temperaturas de 5, 15 y 25 °C en tiempos de 160, 96 y 16 días, siendo ilustrados en las Figuras 22, 33, 34, 35, 36 y 37 observándose en las Tablas 62, 63, 64, 65, 66 y 67. Para determinar el orden de reacción de la miel crema, los resultados demuestran que se da un incremento en los valores de hidroximetilfurfural y viscosidad, en cuanto a la luminosidad (L^*) presenta una degradación.

Se determinó las características fisicoquímicas en evaluación (hidroximetilfurfural, viscosidad y luminosidad), se realizó mediante las estadísticas de regresión simple que nos muestra en la Tabla 10, se determinó la bondad de ajuste que muestran las Tablas 62, 63, 64, 65, 66 y 67, para cada temperatura y tiempo de almacenamiento al presentar los valores del coeficiente de determinación (R^2) ajustaron a un mejor orden de reacción como se observa. Los resultados de las características fisicoquímicas el modelo que mejor se ajusta para los datos fueron en luminosidad (L^*) se ajustaron a la reacción de primer orden mientras los resultados de hidroximetilfurfural (mg/l de HMF) viscosidad (Pa.s) se ajustaron a la reacción de orden cero en la miel crema.

Tabla 10 — Estadística de regresión lineal de hidroximetilfurfural, viscosidad y luminosidad para cada temperatura a partir de los datos experimentales versus la temperatura

Orden de reacción	Temperatura			TOTAL
	5 °C	15 °C	25 °C	
	R^2	R^2	R^2	
HIDROXIMETILFURFURAL				
0	0,8121	0,6642	0,4496	1,9259
1	0,8542	0,6007	0,4020	1,8569
VISCOSIDAD				
0	0,4228	0,3227	0,6362	1,3817
1	0,3648	0,3000	0,6241	1,2889
LUMINOSIDAD (L^*)				
0	0,8653	0,8323	0,7582	2,4558
1	0,8659	0,8309	0,7772	2,4740
Claves				
R^2 : Coeficiente de determinación lineal				



De los tres tratamientos (5, 15 y 25 °C) la mejor cinética respecto al hidroximetilfurfural y viscosidad fueron de orden cero (n=0) por otro lado luminosidad presento un primer orden (n=1).

B. Determinado la K_{20} y energía de activación (E_a)

Se calculó realizando la regresión lineal a partir del logaritmo natural de las constantes de velocidad de degradación respecto la inversa de las temperaturas en grados kelvin y aplicando la ecuación 21.

- **Calculo de energía de activación de hidroximetilfurfural (HMF) a partir de la ecuación linealizado de Arrhenius y para 20 °C**

En la Tablas 11, muestra la ecuación que corresponde a la linealización del modelo cinético de orden cero, las pendientes de la rectas son 0,0891; 0,1128 y 0,3742 son las constantes de velocidad de incremento de hidroximetilfurfural (HMF) que corresponden a las temperaturas de 5, 15 y 25 °C respectivamente.

Tabla 11 — Ln de la constante de velocidad versus la temperatura

1/T	T °C	K	Ln (K)
0,0036	5	0,0891	-2,4180
0,0035	15	0,1128	-2,1821
0,0034	25	0,3742	-0,9830

A partir de la Tabla 11, obtenemos la Figura 38, una gráfica 1/T versus Ln de lo cual obtendremos la ecuación de Arrhenius.



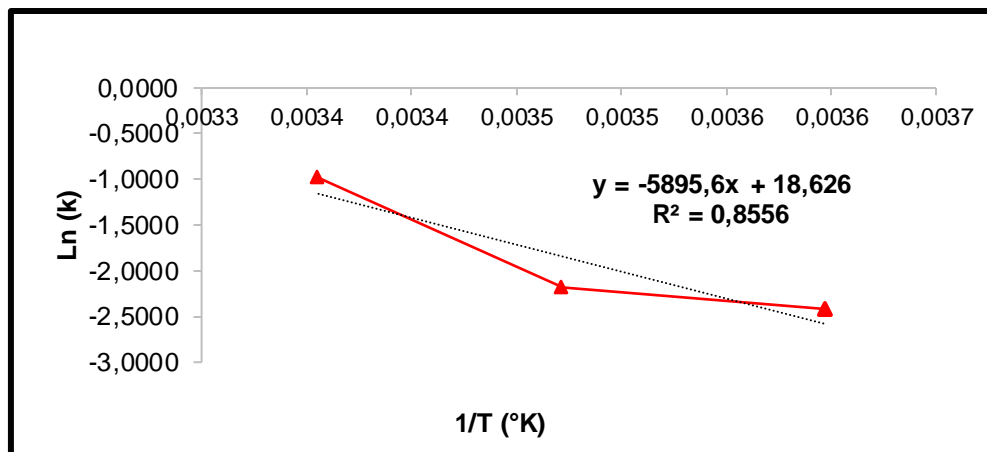


Figura 38 — Ln (K) en función de la inversa de la temperatura °K

- **Calculando el valor de k a 20 °C**

Utilizando la ecuación de Arrhenius la pendiente de la gráfica de la Figura 38, se determina la K_{20} el valor es de 0,2241 en hidroximetilfurfural.

Tabla 12 — Hallando el valor a 20 °C de hidroximetilfurfural

1/T	T °C	k ₂₀	Ln (k)
0,0034	20	0,2241	-1,4955

- **Cálculo de energía de activación de hidroximetilfurfural a partir de la ecuación linealizado de Arrhenius**

A partir de la pendiente de la Figura 38, muestra la ecuación que corresponde a la linealización de la ecuación de Arrhenius que permite calcular los valores de la energía de activación (E_a) que igual a 11,7 Kcal/mol de hidroximetilfurfural (HMF).

$$\ln(k) = \ln(k_0) - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T}$$

$$E_a = 11,7 \text{ Kcal/mol}$$

- **Cálculo de energía de activación viscosidad a partir de la ecuación linealizado de Arrhenius**

En la Tablas 13, muestra la ecuación que corresponde a la linealización del modelo cinético de orden cero, las pendientes de la rectas son 3,0493; 5,7542

y 5,3167 son las constantes de velocidad de incremento de viscosidad que corresponden a las temperaturas de 5, 15 y 25 °C respectivamente.

Tabla 13 — Resultado de constancia de velocidad de reacción

1/T	T °C	K	Ln(k)
0,0036	5	3,0493	8,023
0,0035	15	5,7542	8,658
0,0034	25	5,3167	8,579

A partir de la Tabla 13 obtenemos la Figura 39, una gráfica 1/T versus Ln de lo cual obtendremos la ecuación de Arrhenius

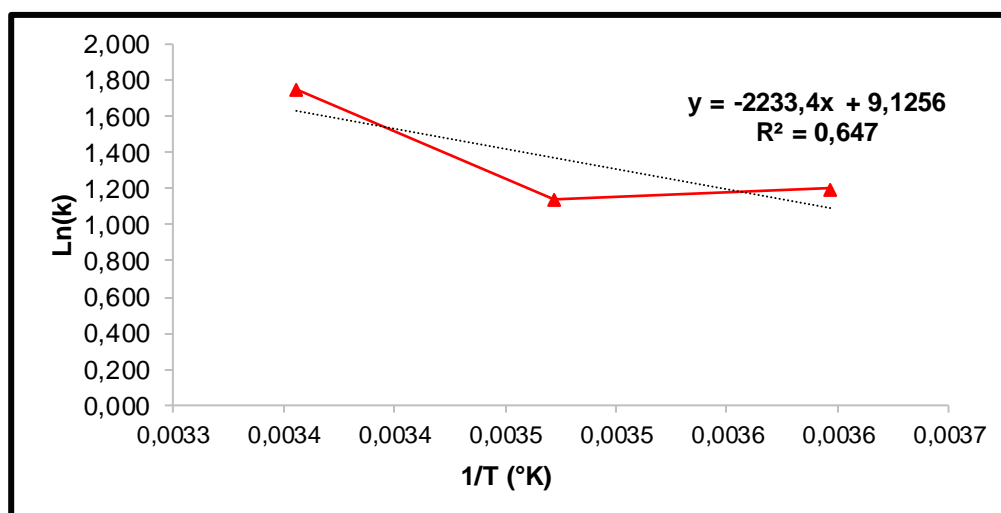


Figura 39 — Ln (k) en función de la inversa a la temperatura para la viscosidad

- **Calculando el valor de k a 20 °C en viscosidad**

Utilizando la ecuación de Arrhenius la pendiente de la gráfica de la Figura 39, se determina la K_{20} el valor es de 4,5000 en viscosidad.

A partir de la Tabla 14 obtenemos la Figura 39, una gráfica 1/T versus Ln.

Tabla 14 — Hallando el valor a 20 °C de viscosidad

1/T	T °C	K_{20}	Ln (k)
0,0034	20	4,5000	8,4105

- **Calculo de energía de activación (Ea) de viscosidad a partir de la ecuación linealizado de Arrhenius**

A partir de la pendiente de la Figura 39, muestra la ecuación que corresponde a la linealización de la ecuación de Arrhenius que permite calcular los valores de la energía de activación (Ea) que igual a 4,4 Kcal/mol.

$$\ln(k) = \ln(k_0) - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T}$$

$$E_a = 4,4 \text{ Kcal/mol}$$

- **Cálculo de k₂₀ y energía de activación (Ea) de color (luminosidad) a partir de la ecuación linealizado de Arrhenius**

En la Tablas 18, muestra la ecuación que corresponde a la linealización del modelo cinético de primer orden, las pendientes de las rectas son 0,0005; 0,0009 y 0,0096 son las constantes de velocidad de la degradación de la luminosidad que corresponden a las temperaturas de 5, 15 y 25 respectivamente.

Tabla 15 — Resultado de constancia de velocidad de reacción

1/T	T °C	K	LN (k)
0,0036	5	0,0005	-7,6009
0,0035	15	0,0009	-7,0131
0,0034	25	0,0096	-4,6460

La Tabla 15, nos muestra las constantes de velocidad de reacción y Ln K obtenidas de las pendientes de la temperatura de 5, 15 y 25 °C.

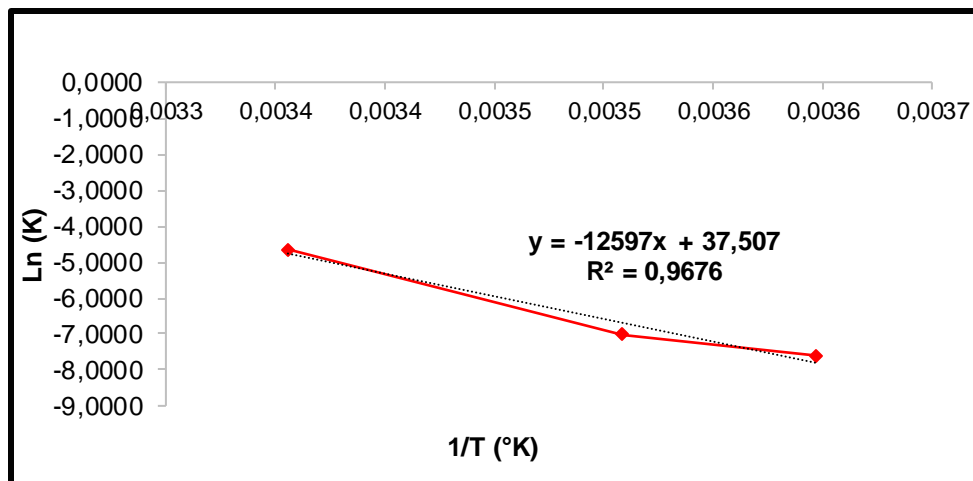


Figura 40 — Logaritmo natural de k en función de la inversa a la temperatura para la luminosidad (L*)

- **Calculando el valor de k a 20 °C**

Utilizando la ecuación de Arrhenius la pendiente de la grafica de la Figura 39, se determina la K_{20} el valor es de 0,0041 en viscosidad.

Tabla 16 — Hallando el valor a 20 °C de color (L*)

1/T	T°C	K_{20}	Ln (k)
0,0034	20	0,0041	-5,4862

- **Calculo de energía de activación (E_a) de viscosidad a partir de la ecuación linealizado de Arrhenius**

A partir de la pendiente de la Figura 40, muestra la ecuación que corresponde a la linealización de la ecuación de Arrhenius que permite calcular los valores de la energía de activación (E_a) que igual a 25,029 Kcal/mol.

$$\ln(k) = \ln(k_0) - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T}$$

$$E_a = 25,029 \text{ Kcal/mol}$$



C. Resultado de la predicción de vida útil de miel crema

La predicción de la vida útil del producto miel crema, calculada mediante la ecuación de Arrhenius para los tratamientos de 5, 15 y 25 °C por las variables de hidroximetilfurfural, viscosidad y luminosidad.

- **Resultado de la predicción de la vida útil para la variable de hidroximetilfurfural (HMF)**

Aplicando la ecuación de orden cero:

$$B = B_0 + K \cdot t_s$$

$$t_s = \ln(B/B_0)/K$$

$\ln B_0 = 10,8$ mg/l de Hidroximetilfurfural

$\ln B = 80$ mg/l de Hidroximetilfurfural (NTP).

K = valores a diferentes temperaturas.

T_s = tiempo de vida útil.

En la Tabla 17, se observa la predicción de la vida útil calculada mediante la ecuación de Arrhenius, también se aplicó la ecuación 8 para la variable de hidroximetilfurfural a una temperatura de 5 °C la vida útil es de 32 meses; para 15 °C la vida útil es de 25 meses, a 25 °C es de 7 meses y para 20 °C es de 12 meses.

Tabla 17 — Estimación de vida útil de la miel crema a diferentes temperaturas en función a hidroximetilfurfural a diferentes temperaturas

T (°C)	K	t (días)	t(meses)
5	0,0891	776,66	32,36
15	0,1128	613,48	25,56
25	0,3742	184,93	7,71
20	0,2241	308,79	12,87

- **Calculando la vida útil mediante el parámetro de Viscosidad**

Aplicando la ecuación de orden cero

$$B = B_0 + K \cdot t_s$$

$$t_s = \ln(B/B_0)/K$$

$B_0 = 125,75$ Pa.s



$B = 1124,67 \text{ Pa.s}$ (Valor crítico)

K = valores a diferentes temperaturas.

T_s = tiempo de vida útil.

La Tabla 18, se observa la determinación de la vida útil para 5°C es de 10 meses, para 15°C es de 10 meses para 25°C es de 5 meses y para 20°C es de 7 meses en la estimación de vida útil en función a la viscosidad.

Tabla 18 — Estimación de vida útil de la miel crema a diferentes temperaturas en función a la viscosidad en Pa.s

T ($^\circ\text{C}$)	k	t (días)	t (meses)
5	3,3293	300,04	10,00
15	3,1292	319,22	10,64
25	5,7542	173,60	5,79
20	4,5000	222,98	7,40

- **Calculando la vida útil mediante el parámetro de Color (Luminosidad)**

Aplicando la ecuación de primer orden

$$\ln A = \ln A_o + K \cdot t_s$$

$$T_s = \ln(A/A_o)/K$$

$$\ln A_o = 4,307 L^*$$

$$\ln A = 4,051 L^* \text{ (valor crítico)}$$

K = valores a diferentes temperaturas.

T_s = tiempo de vida útil.

La Tabla 18, se observa la vida útil para 5°C es de 17 meses, para 15°C es de 9 meses, para 25°C es de 26 días y para 20°C es de 2 meses la estimación de vida útil en función a la luminosidad.

Tabla 19 — Estimación de vida útil de la miel crema a diferentes temperaturas en función a la L*

T (°C)	K	t (días)	t (meses)
5	0,0005	511,58	17,05
15	0,0009	284,21	9,47
25	0,0096	26,65	0,89
20	0,0041	62,39	2,08



6.1 Contrastación de hipótesis

a. Efecto de temperatura de miel crema

Hipótesis general: Determinar el efecto a las diferentes temperaturas 5, 15 y 25 °C y tiempos 160, 96 y 16 días de almacenamiento en las características fisicoquímicas (miel cristalizada y miel crema), determinando los parámetros cinéticos de orden de reacción y energía de activación; predecir la vida útil de miel crema mediante pruebas aceleradas proveniente del distrito de Circa – Abancay.

Hipótesis específica 1

Las diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento influyen significativamente en las características fisicoquímicas (acidez, pH y % de inhibición) en las temperaturas (5, 15 y 25 °C), tiempos (160, 96 y 16) días de almacenamiento.

Efecto en la temperatura de miel crema

El contenido de acidez, pH y % de inhibición en la miel crema, si existe diferencia estadísticamente significativa, sobre temperaturas de almacenamiento debido que el grado de significancia menor a 0,005 ($p < 0,05$), por consiguiente, se rechazan a la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

H₀: No existe diferencias significativas en las temperaturas (5, 15 y 25 °C) de almacenamiento de la miel crema.

H_a: Existe diferencias significativas en las temperaturas (5, 15 y 25 °C) de almacenamiento de miel crema.

Efecto en el tiempo de miel crema

El contenido de las características fisicoquímicas de la miel crema (acidez, pH y % de inhibición), si existe diferencia estadísticamente significativa, sobre el tiempo de almacenamiento; debido que el grado de significancia menor a 0,005 ($p < 0,05$), por consiguiente, se rechazan a la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

H₀: No existe diferencias significativas en los tiempos (160, 96 y 16 días) de almacenamiento.

H_a: Existe diferencias significativas en la en las temperaturas (160, 96 y 16 días) de almacenamiento.

b. Efecto de temperatura en la miel cristalizada

El contenido de acidez, pH y porcentaje de inhibición en la miel cristalizada, si existe diferencia estadísticamente significativa, sobre las temperaturas de almacenamiento debido que el grado de significancia menor a 0,005 ($p < 0,05$), por consiguiente, se rechazan a la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

H₀: No existe diferencias significativas en las temperaturas (5, 15 y 25 °C) de almacenamiento de la miel cristalizada.

H_a: Existe diferencias significativas en las temperaturas (5, 15 y 25 °C) de almacenamiento de miel cristalizada.

Efecto en el tiempo de miel cristalizada

El contenido de las características fisicoquímicas de la miel cristalizada (acidez, pH y % de inhibición), si existe diferencia estadísticamente significativa, sobre el tiempo de almacenamiento; debido que el grado de significancia menor a 0,005 ($p < 0,05$), por consiguiente, se rechazan a la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

H₀: No existe diferencias significativas en los tiempos (160, 96 y 16 días) de almacenamiento.

H_a: Existe diferencias significativas en la en las temperaturas (160, 96 y 16 días) de almacenamiento.



5.2 Discusión

- **Discusiones: Determinar los efectos de las temperaturas 5, 15 y 25 °C y tiempos 160, 96 96 y 16 días de almacenamiento de la miel crema y miel cristalizada en las características fisicoquímicas proveniente del distrito de Circa - Abancay.**
- **Variación del porcentaje de acidez de miel crema con respecto a la temperatura y tiempo de almacenamiento.**

Los resultados obtenidos respecto al porcentaje de acidez en las diferentes temperaturas oscilaron entre 13,65 meq/ Kg y 21,65 meq/Kg. Es importante destacar que estos valores se encuentran dentro de los límites permitidos (40 meq/Kg) establecidos por las normas técnicas peruanas. Asimismo, se observó que durante el almacenamiento a las tres temperaturas y en los diferentes tiempos, la acidez presentó una variación significativa ($p < 0,05$), con una tendencia a incrementarse.

Estos resultados coinciden con las investigaciones de RABABAH et al. (2024), quienes estudiaron el efecto de la temperatura sobre la acidez de las mieles y encontraron valores que fluctuaban entre 13,50 y 16,00 meq/Kg. Por otro lado, GARCIA et al. (2007) reportaron valores que oscilaron entre 16,00 y 35,00 meq/Kg. FRIGERIO (2010) también observó que la acidez de la miel crema a 5 °C se mantenía estable y disminuía levemente tras 10 meses de almacenamiento, concluyendo que no había variación significativa del tiempo sobre la acidez. Esto contrasta con los resultados de la presente investigación, que evidencian diferencias significativas.

RABABAH et al. (2024) indican que la acidez aumenta debido a la descomposición de la fructosa, lo que provoca la formación de ácido glucónico y otros compuestos. Además, FRIGERIO (2010) sugiere que esta variación puede deberse al tipo de miel utilizada para la elaboración de la miel crema, ya que su composición fisicoquímica y características pueden variar considerablemente debido a factores como la flora apícola, la región y la humedad. Por último, la investigación de MOSQUERA (2015) señala limitaciones indicando que, si la acidez supera los límites permitidos es probable que la miel fermente debido a la transformación de los azúcares en alcoholes.



- **Variación del pH de miel crema con respecto a la temperatura y tiempo de almacenamiento.**

Los resultados obtenidos respecto al pH muestran que este varía con el tiempo y la temperatura de almacenamiento, con valores que oscilan entre 4,38 y 3,96. A una temperatura de 5 °C, los análisis revelaron que el pH fluctuó entre 4,38 y 4,13, observándose una disminución en relación con el tiempo y la temperatura de almacenamiento. Los datos estadísticos indican que las variaciones observadas en los tres tiempos y a las tres temperaturas son significativas ($p < 0,05$).

Estos valores son similares a los reportados por GARCIA et al. (2007) en su investigación sobre la optimización del proceso de elaboración de miel de abeja cremada, donde los pH variaron entre 5,00 y 4,50. Sin embargo, nuestros resultados difieren de los obtenidos por FRIGERIO (2010), quien reportó valores de pH entre 4,31 a 4,01 tras un período de 10 meses. Por otro lado, SANTACRUZ et al. (2016) también encontraron en su estudio sobre miel de abeja valores que oscilaron entre 4,13 y 3,67, coincidiendo con los resultados de la presente investigación, lo cual indica que estos valores se encuentran dentro de lo normal. Es importante señalar que el pH desempeña un papel crucial en la inhibición del crecimiento de ciertos microorganismos. Los hallazgos de este estudio se alinean con la investigación de ULLOA et al. (2010), que indica que los ácidos son responsables del bajo pH (3,5 a 5,5) en las mieles.

- **Variación del porcentaje de inhibición de miel crema con respecto a la temperatura y tiempo de almacenamiento.**

Con respecto a los reportes sobre la capacidad antioxidante, expresada como porcentaje de inhibición, se observó una variación durante un período de 160 días a una temperatura de almacenamiento de 5 °C. Los datos fluctuaron desde un 48,352 % de inhibición hasta un 46,725 % de inhibición. El porcentaje de inhibición en los tres tratamientos disminuyó en función del tiempo y la temperatura.

Durante el almacenamiento en los tres períodos y a las tres temperaturas evaluadas, la estadística indica un efecto significativo ($p < 0,05$) de estas variables sobre la actividad antioxidante.



Los hallazgos de este estudio complementan los resultados de RABABAH et al. (2024) quienes informaron que, a altas temperaturas, entre 45 °C y 90 °C, el análisis mostró un porcentaje de inhibición que varió de 31,17 % a 27,96 %, lo que sugiere una disminución a medida que aumenta la temperatura. Asimismo, los resultados son consistentes con los de RAMÓN (2013), quien reportó que tanto la temperatura como el tiempo de almacenamiento tienen un efecto significativo en la interacción entre estas variables ($p < 0,05$) durante un período de almacenamiento de 0 a 180 días, bajo condiciones de refrigeración y temperatura ambiente.

a) Discusiones: Evaluar la variación en el tiempo (160, 96 y 16 días) y temperatura (5, 15 y 25 °C) de almacenamiento de miel cristalizada.

Las condiciones de almacenamiento de la miel de abeja fundamentalmente con la temperatura provocan cambios significativos en los parámetros de la calidad de la miel de abeja (MOSQUERA, 2015).

- **Variación de acidez de miel cristalizada con respecto a la temperatura y tiempo de almacenamiento**

Los resultados obtenidos respecto al porcentaje de acidez de la miel cristalizada en diferentes temperaturas oscilaron entre 14,65 meq/Kg y 19,98 meq/Kg. Es importante destacar que estos valores se encuentran dentro de los límites permitidos (40 meq/Kg) según las normas técnicas peruanas. Además, se observó que durante el almacenamiento a las tres temperaturas y en los diferentes períodos de tiempo, la acidez presentó una variación significativa ($p < 0,05$), mostrando una tendencia al aumento.

En su investigación sobre miel de abeja, MOSQUERA (2015) encontró que, a una temperatura de 30 °C, durante un período de almacenamiento de 0 a 58 días, la acidez aumentó de 38,59 meq/Kg a 42,40 meq/Kg. Este estudio también reportó una diferencia significativa en esta variable ($p < 0,05$), lo que coincide con los resultados de la presente investigación, que indica que la acidez se incrementa en función del tiempo de almacenamiento.

Por otro lado, GRUZNOV et al. (2024) observaron que, en un periodo de 10 meses y a temperaturas de 18, 10 y 5 °C, la acidez varió ligeramente entre 24,6 y 25,6 meq/Kg, sugiriendo que los cambios fisicoquímicos dependen del origen floral de la miel. RAWEH et al. (2022) señalaron que, al almacenar la miel a temperaturas entre 0 y 25 °C, la calidad se mantiene y la acidez no supera los límites establecidos por las normas.

Finalmente, estos datos se alinean con lo estipulado en las NTP 209.174 (2019), que establece un límite de acidez inferior a 40 meq/Kg.

- **Variación de pH de la miel cristalizada con respecto al tiempo y temperatura**

Los reportes obtenidos respecto al pH durante un período de almacenamiento de 160 días a una temperatura de 5 °C variaron de 4,350 a 4,210. En comparación, a una temperatura de 15 °C durante 96 días, el pH osciló entre 4,35 y 4,10; mientras que, a 25 °C durante 16 días, los resultados fluctuaron entre 4,350 y 4,25. En todos los tiempos y temperaturas evaluados, se observó un efecto significativo ($p < 0,05$).

Estos resultados son consistentes con los reportados por VISQUERT (2015), que indica un rango de pH de 3,80 a 5,20, variación que puede atribuirse a factores geográficos y al tipo de flora. En su estudio, el pH más bajo registrado fue el de la miel de eucalipto, que fue de 3,90. Por otro lado, KORKMAZ y KÜPLÜLÜ (2017) sometieron miel a temperaturas de 10, 22 y 35 °C, encontrando valores de pH que variaron de 4,73 a 3,62.

Asimismo, RAWEH et al. (2022) evaluaron el efecto de las condiciones de almacenamiento a temperaturas de 0, 25, 35 y 45 °C en mieles frescas, observando que la temperatura influye en el valor del pH, el cual disminuyó durante el período de almacenamiento. Esto coincide con nuestra investigación, donde las medias de pH de los tratamientos disminuyeron de 4,49 a 4,00 a medida que avanzaba el tiempo de almacenamiento. En contraste, RABABAH et al. (2024) evaluaron miel a diferentes temperaturas (45, 60, 75 y 90 °C) y encontraron que los valores de pH aumentaron de 3,99 a 4,02, corroborando también algunos de nuestros hallazgos.



Por lo tanto, la variación del pH se atribuye a varios factores, incluidos condiciones climáticas, tipo de alimentación y métodos de recolección. Es importante destacar que el pH desempeña un papel fundamental en la inhibición del crecimiento de microorganismos. Además, los resultados de esta investigación sobre miel crema indican que existen diferencias significativas en relación con la temperatura y el tiempo de almacenamiento, y que los resultados se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

- **Variación del porcentaje de inhibición de miel cristalizada con respecto al tiempo y temperatura**

Por otra parte, respecto a la capacidad antioxidante durante un período de almacenamiento de 160 días a una temperatura de 5 °C mostraron una variación en el porcentaje de inhibición, que fue de 51,133 % a 29,621 %. En comparación, a una temperatura de 15 °C durante 96 días, el porcentaje de inhibición osciló entre 51,133 % y 59,718 %. Por otro lado, en un período de 16 días a 25 °C, los resultados variaron de 51,133 % a 25,077 % de inhibición. En todos los casos evaluados (los tres tiempos y las tres temperaturas), se observó un efecto significativo ($p < 0,05$). Los valores reportados se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

Según MARTINEZ (2013), su investigación también evidenció un efecto significativo en la interacción entre tiempo y temperatura ($p < 0,05$) durante periodos de almacenamiento de 0 a 180 días, considerando tanto condiciones de refrigeración como de temperatura ambiente. Además, los resultados de IMTARA et al. (2018) sobre diferentes tipos de miel mostraron una correlación significativa en el porcentaje de inhibición medido por el ensayo ABTS, lo cual coincide con los hallazgos de esta investigación sobre miel crema, que también revela una diferencia significativa ($p < 0,05$).

5.2.1 Discusiones: Determinar los parámetros cinéticos de orden de reacción (n) y energía de activación (Ea) en miel crema, basado en la ecuación de Arrhenius

- a) **Orden de reacción de hidroximetilfurfural (HMF), viscosidad y luminosidad (L*)**

En el presente trabajo de investigación, se determinó el incremento de hidroximetilfurfural (HMF) en la miel crema, siguiendo una cinética de orden cero a temperaturas de almacenamiento de 5, 15 y 25 °C durante períodos de 160, 96 y 16 días, como se muestra en la Tabla 10.

Los resultados indicaron del incremento de HMF se comportó como una reacción de orden cero ($n=0$), con una energía de activación (E_a) de 11,7 kcal/mol. Estos hallazgos son consistentes con los reportados por VISQUERT (2015), quien también observó un comportamiento de orden cero en el almacenamiento de mieles a diferentes temperaturas, desde 25 hasta 85 °C. Esto sugiere que, bajo las condiciones de la presente investigación, la reacción de HMF es favorable.

Por otro lado, los estudios cinéticos mencionados por VARGAS (2006) discrepan de estos resultados, ya que reportó una reacción cinética de primer orden ($n=1$). Esta discrepancia podría deberse a las diferentes condiciones de temperatura utilizadas en su estudio. VARGAS también enfatiza la importancia del estudio de HMF para evaluar la calidad de la miel y sus derivados apícolas, subrayando que es fundamental encontrar una temperatura adecuada que no cause un aumento significativo de HMF, ya que un incremento en este compuesto podría reducir la calidad de la miel y por ende, su vida útil.

FRIGERIO (2010) señala que en la miel crema almacenada a 5 °C no se observó un aumento significativo de HMF, pero advierte que un incremento en la temperatura puede conducir a la formación de HMF debido a reacciones internas entre los carbohidratos, enzimas y proteínas presentes en la miel.

Además, KORKMAZ y KÜPLÜLÜ (2017) indican que, en su investigación, donde trabajaron con tres temperaturas (10, 22 y 35 °C) durante 12 meses, las muestras almacenadas a temperaturas más altas mostraron una variación mayor en el contenido de HMF.

De acuerdo con GRUZNOV et al. (2024), el HMF no presentó un incremento a temperaturas bajo cero, mientras que a temperaturas de 0 a 5 °C aumentó con menor intensidad. En contraste, a temperaturas de 10 y 18 °C se observó



un mayor contenido de HMF, lo que sugiere que este compuesto depende en gran medida del origen botánico de la miel.

En cuanto a la viscosidad de la miel crema, se observó una cinética de orden cero ($n=0$) en las temperaturas de almacenamiento de 5, 15 y 25 °C, en los mismos períodos de 160, 96 y 16 días, como se muestra en la Tabla 28. Los resultados reportados por ALATRISTE et al. (2017) para miel fluida fueron de 1,676 a 5,065 Pa.s. Por otro lado, RIERA et al. (2010) reportaron una viscosidad de 9,500 Pa.s a 30 °C. En comparación, los datos de la presente investigación fueron significativamente más altos, con la miel crema variando de 125,75 a 984,63 Pa.s, lo que indica que la miel crema es altamente viscosa. Esta propiedad tiende a variar según el contenido de agua y la temperatura de almacenamiento.

En el caso del color, la cinética de degradación del valor L^* en la miel crema mostró un comportamiento de primer orden ($n=1$) a las temperaturas de almacenamiento de 5, 15 y 25 °C, como se ilustra en la Tabla 30. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de MOSQUERA (2015), quien también reportó una reacción de primer orden ($n=1$). Asimismo, DEVI et al. (2016) coinciden con estos resultados en su investigación titulada “Estudio del comportamiento de vida útil y cinética de color en miel en polvo al vacío bajo condiciones de almacenamiento acelerado”, donde determinaron que la cinética de degradación es de primer orden.

Como se muestra en la Figura 36, el valor de L^* (luminosidad) de nuestra investigación fue clasificado como de primer orden. BATISTA (2010) reporta un valor de L^* de 65,69 en su miel crema a temperatura ambiente, un valor inferior al nuestro, que fue de 74,21. Esto indica que nuestra miel crema presenta una mayor luminosidad.

Además, MOSQUERA (2015) señala que el ritmo de degradación aumenta con la temperatura y el tiempo.



b) Energía de activación E_a

En el presente estudio sobre la cinética del incremento de hidroximetilfurfural (HMF), la viscosidad y la luminosidad (L^*), se determinó que la energía de activación (E_a) para el hidroximetilfurfural es de 11,7 kcal/mol, para la viscosidad es de 4,4 kcal/mol, y para la luminosidad (L^*) es de 25,03 kcal/mol. Estos valores reflejan la cantidad mínima de energía necesaria para iniciar cada una de estas reacciones.

Los resultados obtenidos por VISQUERT (2015) indican que se reportó una energía de activación de 21,7 kcal/mol para el hidroximetilfurfural. Esto sugiere que, bajo las condiciones de este estudio, la reacción de HMF es favorable. La diferencia observada en la energía de activación puede atribuirse a factores de almacenamiento, tales como la temperatura y el tiempo.

Por otro lado, LAZCANO et al. (2012) reportaron valores de energía de activación que oscilan entre 9,95 kcal/mol para la miel líquida y 5,6 kcal/mol para la miel semi cristalizada. Estos resultados indican que tanto el origen floral de la miel como el tiempo de procesamiento térmico influyen en la acidez de los productos

5.2.2 Determinar la vida útil estimada de la miel crema mediante pruebas aceleradas

Se calculó que la vida útil de la miel crema, en función del contenido de hidroximetilfurfural (HMF), es de 323 días (aproximadamente 10 meses) a 5 °C. En función de la viscosidad, la vida útil estimada a la misma temperatura es de 300 días (10 meses), mientras que, considerando la luminosidad (L^*), se estima en 511 días (17 meses). Por lo tanto, se concluye que la vida útil de la miel crema es de 10 meses a 5 °C. Estos hallazgos coinciden con los de FRIGERIO (2010), quien, en su estudio titulado “Elaboración de miel crema (*Apis mellifera*) mediante el método de cristalización inducida y evaluación de sus propiedades textuales”, también establece que la vida útil de la miel crema almacenada a 5 °C es de 10 meses.



Nuestros resultados respaldan la recomendación de VISQUERT (2015), quien sugiere consumir la miel antes de los 18 meses, destacando que el contenido de hidroximetilfurfural es un indicador clave de la calidad de la miel. Para preservar esta calidad, es fundamental predecir el tiempo y la temperatura de almacenamiento. Por otro lado, SAMINA et al. (2023) recomiendan consumir la miel en un período de 6 a 8 meses para mantener su calidad.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- En las características fisicoquímicas de acidez, pH y porcentaje de inhibición, tanto en la miel crema como en la miel cristalizada, se evaluaron a las temperaturas de 5, 15 y 25 °C y durante los períodos de 160, 96 y 16 días. Se concluye que estas características se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma técnica peruana (NTP) y otros autores, y que existe una diferencia estadística significativa entre ambos tratamientos (miel crema y miel cristalizada).
- En el estudio de la vida útil de la miel crema a las temperaturas de almacenamiento de 5, 15 y 25 °C, y tiempos 160, 96 y 16 días y, mostró un comportamiento de primer orden ($n=1$) en la determinación de luminosidad (L^*). En cambio, los parámetros de hidroximetilfurfural (HMF) y viscosidad siguieron un comportamiento de orden cero ($n=0$). En cuanto a la energía de activación (E_a) en hidroximetilfurfural se obtuvo un valor de 11,7 kcal/mol, en viscosidad es 4,4 kcal/mol y en luminosidad es 25,025 kcal/mol.
- La determinación de la vida útil de la miel crema a diferentes temperaturas (5, 15 y 25 °C) reveló una variación significativa en la calidad del producto. De las tres temperaturas consideradas, el almacenamiento a 5 °C resultó ser el más óptimo, ya que permitió mantener una miel de alta calidad con una vida útil de 10 meses

6.2 Recomendaciones

- Almacenar en condiciones de refrigeración (5 °C) el producto obtenido denominado miel crema.
- Hacer estudios de la actividad enzimática de la miel crema para obtener un alimento con mayor durabilidad.
- Hacer un estudio de mercadeo y marketing para introducir el producto en el mercado regional.
- Hacer un estudio de mieles monoflorales para ver el comportamiento en cuanto a la degradación del flavor del producto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAM, Nur, NUSRAT Bristi, y RAFIQUZZAMAN Md. 2012. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. Saudi Pharmaceutical Journal 21 (2): 143–52. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2012.05.002>.

ALATRISTE, Ismael., RIVERA, V., RODRIGUEZ, O., y ZARATE, G. 2017. Evaluación de características fisicoquímicas y reológicas de miel comercializada en municipios de la zona centro del Estado de Veracruz. Artículo Revista de Simulación y Laboratorio Septiembre, 4, 6–11. www.ecorfan.org/bolivia

ANCAJICA, Jóel. 2020. Estimación del tiempo de vida útil de algarrobina en empaque de vidrio, empleando pruebas aceleradas. UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE. Morropón

AUDAY K. AZAWY, KOCHER J. IBRAHIM, OMED GH. ABDULLAH, BESHROO A. OTHMAN, JASIM M.S. 2021. Al-Saadi, Physical and Rheological Properties of Poly-floral Honey from the Iraqi Kurdistan Region and the Effect of Temperature on its Viscosity, Current Nutrition & Food Science; Volume 17, Issue 5, DOI: 10.2174/1573401316999201001145306

AOAC. 2000. Determinación de Nitrógeno por el Método Kjeldahl.

BADUI, Salvador. 2006. Química de los alimentos. Ciudad de México : PEARSON EDUCACIÓN, 2006. 970-26-0670-5.

BATISTA, Dalia y CABRERA, Lady. 2010. Efecto de la temperatura de almacén y el uso de estabilizadores en las características físico-químicas y sensoriales de la miel cremada. Zamorano.

BARKIJEVIĆ, M., y DIPLOMSKI, R. 2017. Analiza sastava šećera HPLC metodom u uzorcima meda s područja Hrvatske.

BASTOS, D y SAMPAIO, G. 2012. Antioxidant Capacity of Honey: Potential Health Benefit. In Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes: Bioactive Foods in Chronic Disease States (S. 609–619). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397153-1.00025-1>



BOGDANOV, Stefan. 2009. Harmonised methods of the international honey commission. http://www.phadebas.com/applications/food/distase_in_honey

BOGDANOV, Stefan, y MARTIN, Peter. 2002. Honey Authenticity: a Review.

BOGDANOV, Stefan y MARTIN, Peter. Honey Authenticity .

BRAND, Williams, CUVELIER, M y BERSET, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. 1995.

BOUSSAID, Amel, CHOUAIBI, Moncef, REZIG, Leila, HELLEL, Raoudha, DONSI, Francesco, FERRARI, Giovanna, y HAMDI, S Giovanna. 2018. Physicochemical and bioactive properties of six honey samples from various floral origins from Tunisia. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(2), 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.08.011>

BROCKLEHURST, T., DALE, R., EBURNE, R., ELLIS, D., GIBSON, D., HOWARTH, J., JONES, A., y JONES, H. 1994. Shelf Life Evaluation of Foods. In *Shelf Life Evaluation of Foods*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2095-5>

CALDERONE, Nicholas. 2006. Creamed Honey-Theory.

CAMPO, Oscar y HINCAPIÉ, Gustavo. 2022. Factores que determinan las propiedades fisicoquímicas de la miel de abejas: Revisión Sistemática de Literatura. *Revista Mutis*, 13(1), 1–28. <https://doi.org/10.21789/22561498.1851>

CODEX ALIMENTARIUS. 2022. NORMA PARA LA MIEL. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>

CONFORTI, P., LUPANO, C., MALACALZA, N., ARIAS, V., y CASTELLS, C. 2006. Crystallization of honey at -20 °C. *International Journal of Food Properties*, 9(1), 99–107. <https://doi.org/10.1080/10942910500473962>

COOPER, R., MOLAN, P., KRISHNAMOORTHY, L., & HARDING, K. 2001. Manuka honey used to heal a recalcitrant surgical wound. *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 20(10), 758–759. <https://doi.org/10.1007/s100960100590>

DEEPIKA, Devi, SANJIB, Paul y JATINDRA, Sahu. 2016. Study of sorption behavior, shelf life and colour kinetics of vacuum puffed honey powder at accelerated storage



conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 53(5), 2334–2341.
<https://doi.org/10.1007/s13197-016-2204-1>

DOMINIC, C. 2015. *Shelf Life*. 2015. 978-1-118-34626-6.

DZUGAN, M., TOMCZYK, M., SOWA, P., y GRABEK, D. 2018. Antioxidant activity as biomarker of honey variety. *Molecules*, 23(8).
<https://doi.org/10.3390/molecules23082069>

ESHETE, Y., y ESHETE, T. 2019. A Review on the Effect of Processing Temperature and Time duration on Commercial Honey Quality. *Madridge J Food Technol*. Vol. 4, n.o 1, pp. 159-163. <https://doi.org/10.18689/mjft1000124>

FATTORI, Susana. 2004. *La miel propiedades composición y análisis físico - químico*. Buenos Aires : Apimodia, www.apimondia.org

FECHNER, Diana, MORESI, A., RUIZ, J., PELLERANO, R., & VAZQUEZ, F. 2016. Multivariate classification of honeys from Corrientes (Argentina) according to geographical origin based on physicochemical properties. *Food Bioscience*, 15, 49–54.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.05.002>

FERNÁNDEZ, Juan y GARCÍA, Tonny. 2010. *Predicción de la vida útil de los alimentos*. Lara : Venezuela, 2010. 978-980-248-242-9.

FRIGERIO, Cesarina. 2010. *Elaboración de miel crema (Apis Mellífera) mediante el método de cristalización inducida, y evaluación de sus propiedades textuales*. Santiago - Chile : s.n., 2010.

FONSECA, A., DA SILVA, G., OLIVEIRA, R., y ALMEIDA, B. 2006. *Série meliponicultura-n 05 Qualidade do Mel de Abelhas sem Ferrão: uma proposta para boas práticas de fabricação*.

GAMBOA, María, CHAPARRO, Amanda y TORRES, Diana. 2023. Evaluación por FTIR de extractos de propóleos de abejas sin aguijón de Bochalema – Norte de Santander. *Bochelema : Revista de Investigación Agraria y Ambiental*.
<https://doi.org/10.22490/21456453.6552>

GARCIA, Hazel, GONZÁLEZ, Hazell y MARTINEZ, Daysi. 2007. *Optimización del Proceso de Elaboración de la Miel de Abeja Cremada*. León : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA.



GARCÍA, María, ARMENTEROS, Ester y ESCOBAR, Maria del Carmen. 2022. Composición química de la miel de abeja y su relación con los beneficios a su salud. 2022. Vol. Vol. 44. 1684-1824.

GÁRCIA, V., MARTINEZ, C., SAURINA, J., NÚÑEZ, O., & SENTELLAS, S. 2022. Characterization, Classification and Authentication of Spanish Blossom and Honeydew Honeys by Non-Targeted HPLC-UV and Off-Line SPE HPLC-UV Polyphenolic Fingerprinting Strategies. *Foods*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/foods11152345>

GRIGORYAN, Karina. 2016. Safety of Honey. In *Regulating Safety of Traditional and Ethnic Foods* (S. 217–246). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800605-4.00012-8>

GRUZN OV, D., GRUZN OV, O., SOKHIKOV, A., y LOBANOV, A. 2024. Effect of Low-Temperature Storage on Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Honey. *Food Processing: Techniques and Technology*, 330–341. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2512>

GUILLEN, V., CERNA, B., GONDO, F., SUAREZ, F., y MARTÍNEZ, L. 2019. Guía práctica de SPSS para diseños paramétricos y no paramétricos Autores: Bd. 1era edición (1era edición 2019).

HAMDAN, Khalil. 2010. Crystallization of Honey.

HORVATINEC, Jelena y SVECNJAK, Lidija. 2020. Infrared (Ftir) spectral features of honey bee (*apis mellifera* L.) hemolymph. *Journal of Central European Agriculture*, 21(1), 37–41. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.1.2741>

HOUGH, Guillermo, FISZMAN, Susana y CURIA, Ana. 2005. Estimación de la vida útil sensorial de alimentos.

HŘIVNA, L., MACHÁLKOVÁ, L., BUREŠOVÁ, I., NEDOMOVÁ, Š., y GREGOR, T. (2021). Texture, color, and sensory changes occurring in chocolate bars with filling during storage. *Food Science and Nutrition*, 9(9), 4863–4873. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2434>

HOŠŤÁLKOVÁ, A., KLINGELHÖFER, I., & MORLOCK, G. E. 2013. Comparison of an HPTLC method with the Reflectoquant assay for rapid determination of 5-hydroxymethylfurfural in honey. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405(28), 9207–9218. <https://doi.org/10.1007/s00216-013-7339-6>



IMTARA, H., ELAMINE, Y., y LYOUSSI, B. (2018). Physicochemical characterization and antioxidant activity of Palestinian honey samples. *Food Science and Nutrition*, 6(8), 2056–2065. <https://doi.org/10.1002/fsn3.754>

KORKOMAZ, Seda y KUPLULU, Ozlem. 2017. Effects of storage temperature on HMF and diastase activity of strained honeys. In *Ankara Üniv Vet Fak Derg* (Bd. 64).

KURTA, S., KHATSEVICH, O., SOLONYTSKA, I., & POVAROVA, N. 2020. Regulation of the structure of honey during its long-term storage. *Food Science and Technology*, 14(4). <https://doi.org/10.15673/fst.v14i4.1900>

LABUZA, P. 1984. Application of chemical kinetics to deterioration of foods.

LARSON, Richard. 1988. The antioxidants of higher plants. In *Phytochemistry* (Bd. 27, Nummer 4, S. 969–978). [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(88\)80254-1](https://doi.org/10.1016/0031-9422(88)80254-1)

LAZCANO, M., PORTILLO, O., PEREIRA, D., & RONQUILLO, A. (2012). Determinación de propiedades termofísicas en diferentes mieles de abeja recolectadas en el Estado de Puebla. *Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável*.

MAMARY, Mohamed, MEERI, Alihabori y MOLHAM, Molham. 2002. Antioxidant activities and total phenolics of different types of honey. *Nutrition Research*, 22(9), 1041–1047. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(02\)00406-2](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(02)00406-2)

MANYI, Loh, CLARKE, Anna y NDIP, Roland. 2011. Identification of volatile compounds in solvent extracts of honeys produced in South Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 6(18), 4327–4334. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.754>

MARIACA, Nelson. 2009. Diseño de bloques.

MARTINEZ, R. 2013. Influencia del almacenamiento de miel de Yateí sobre las propiedades antimicrobianas y parámetros de calidad.

MINAGRI. 2015. PLAN NACIONAL DE DESARROLLO APÍCOLA 2015-2025.

MOSQUERA, Ruby. 2015. Evaluación de indicadores de deterioro de miel de diferentes especies de abeja

MOYANO, Rosa, ABRIL, L., ENRÍQUEZ, J., y INGA, L. 2023. Características organolépticas de la miel de abeja (*Apis mellifera*) producida en apiarios de Ambato,



provincia del Tumburahua. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2).
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5515

NICOLI, María. 2012. *Shelf Life Assessment of Food*. Italy : CRC Press.

NORMA TÉCNICA PERUANA (NTP 209.168), 2014. Miel, definiciones, requisitos y rotulado. Elaborado por la comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI). www.inacal.gob.pe

NORMA TÉCNICA PERUANA (NTP 209.171), 2014. Miel. Determinación del contenido de humedad. Elaborado por la comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI).

NORMA TÉCNICA PERUANA (NTP 209.174), 2019. Miel. Determinación de la acidez. Elaborado por la comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI). www.inacal.gob.pe

NORMA TÉCNICA PERUANA (NTP 209.175), 2019. Miel. Determinación del contenido de sustancias minerales. Elaborado por la comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI).

OLIVERO, Rafael, et al.,. 2018. *Evaluación de la miel de abejas (Apis mellifera)*. Colombia : Calidad Gráfica S.A., 2018. 978-958-5525-75-7 .

OVANDO, Claudia. 2006. *Estudios para la medición de la viscosidad para la miel final*. Cencicaña : s.n., 2006.

PINEDA, Eliécer, CASTELLANO, Alberto y TÉLLEZ, Fredy. 2019. *Physical-chemical determinants of the honey quality: A bibliographic review*. Cuadernos de Desarrollo Rural, 16(83). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr16-83.dfc>

PRACTICAL, Guide. 2009. *Food Packaging and Shelf Life*. London - New York : Gordon L. Robertson, 2009. 978-1-4200-7844-2

RAMÓN , Alejandro. 2013. *Influencia del almacenamiento de miel de Yateí sobre las propiedades antibacteriana y parámetros de calidad*. Posadas : s.n., 2013.



RABABAH, T., AL-U'DATT, M., NAGRESH, A., GAMMOH, S., ALMAJWAL, A., SALEH, M., YUCEL, S., AL-RAYYAN, Y., & AL-RAYYAN, N. 2024. Effect of Temperature and Time on the Physicochemical and Sensory Properties of Crystallized Honey. *ACS Omega*, 9(18), 20243–20252. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c00570>

RAWEH, H., BADJAH, A., IQBAL, J., & ALQARNI, A. 2022. Impact of Different Storage Regimes on the Levels of Physicochemical Characteristics, Especially Free Acidity in Talh (*Acacia gerrardii* Benth.) Honey. *Molecules* (Basel, Switzerland), 27(18). <https://doi.org/10.3390/molecules27185959>

RIERA, G. G., BUSTABAD, O. M., SUPERIOR, I., JOSÉ, P., & ECHEVARRÍA, A. (2010). MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD EN MIELES FINALES Y MASAS COCIDAS C: Bd. XXX (Nummer 3).

SAMINA, Qamer, ABIR, Ishtiaq, BILAL, Ahmad, y SHAKILA, Naz. 2023. Evaluating the Shelf Life of APIS MELLIFERA Honey Collected in South Punjab, Pakistan. *University of Sindh Journal of Animal Sciences (USJAS)*, 7(03), 62–67. <https://doi.org/10.57038/usjas.v7i03.6509>

SANTACRUZ, Efrén, MARTÍNEZ, Javier y JURADO, Henry. 2016. Identificación de flora y análisis nutricional de miel de abeja para la producción apícola. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 37. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)37-44](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)37-44)

SCEPANKOVA, Hana, SARAIVA, Jorge y ESTEVINHO, Letícia. 2017. Honey health benefits and uses in medicine. *Bee Products - Chemical and Biological Properties*. 2017. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59689-1_4

SULASTRI, S., y PURNAMASARI, D. 2023. Pemanfaatan Kompur Listrik Rumah Tangga Sebagai Pengganti Penangas Air Pada Analisis Kadar Lemak Metode Soxhlet. *JURNAL SAINS TEKNOLOGI & LINGKUNGAN*, 9(1), 105–112. <https://doi.org/10.29303/jstl.v9i1.414>

TOVAR, Jennifer. 2013. Determinación de la actividad antioxidante por DPPH Y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregion cafetera. Pereira

ULLAH, Shahid, ISHTIAQ, S., RAHMAN, K., JOVED, M., ULLAD, W., KAMAL, S., KHATTAK, B., MUHAMMAD, A., y ULLAH, H. 2017. Honey: Single food stuff



comprises many drugs. In Saudi Journal of Biological Sciences (Bd. 25, Nummer 2, S. 320–325). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.08.004>

ULLOA, A., MONDRAGÓN, P., RODRÍGUEZ, R., RESÉNDIZ, A., & ULLOA, R. 2010. La miel de abeja y su importancia. In Revista Fuente Año (Bd. 2, Nummer 4).

VARGAS, Melida. 2006. Efecto del tratamiento térmico temporal de la variación de su calidad durante el almacenamiento. VIDAURRE, J. (2016). Principios basicos para determinar la vida útil de los alimentos (Método ASLT).

VIDAURRE, J. 2016. Principios basicos para determinar la vida útil de los alimentos (Método ASLT).

VISQUERT, M. 2015. Influencia de las condiciones térmicas en la calidad de la miel.



ANEXOS



Anexo 1 — Análisis de varianza para características fisicoquímicas (acidez) con factor Kruskal-Wallis con la prueba de Tukey (miel crema)

Tabla 20 — Variación de las temperaturas de acidez de la miel crema

Temperatura (°C)	Tamaño Muestra	Rango Promedio
5	27	52.500
15	27	52.4259
25	27	18.0741

Estadístico = 38.9458 Valor-P = 3.49163E-9

Tabla 21 — Pruebas de múltiples rangos para acidez por temperatura de la miel crema

Temperatura (°)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
25	27	12.9502	b
5	27	17.0918	a
15	27	17.6203	a

Tabla 22 — Contraste entre las temperaturas de miel crema

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
5 – 15		-0.528519	1.56651
5 – 25	*	4.14156	1.56651
15 – 25	*	4.67007	1.56651

* indica una diferencia significativa.

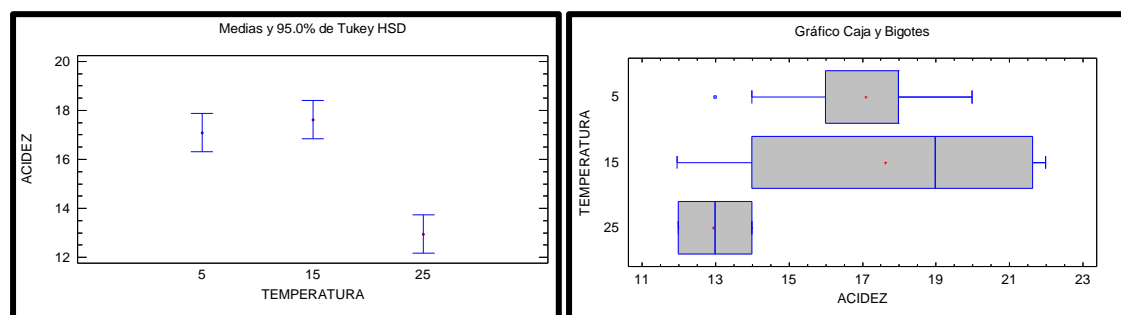


Figura 41 — Gráfico de cajas y bigotes de miel crema

Tabla 23 — Prueba de Kolmogorov- Smirnov

	Normal
DMAS	0.194276
DMENOS	0.108303
DN	0.194276
Valor-P	0.00442159



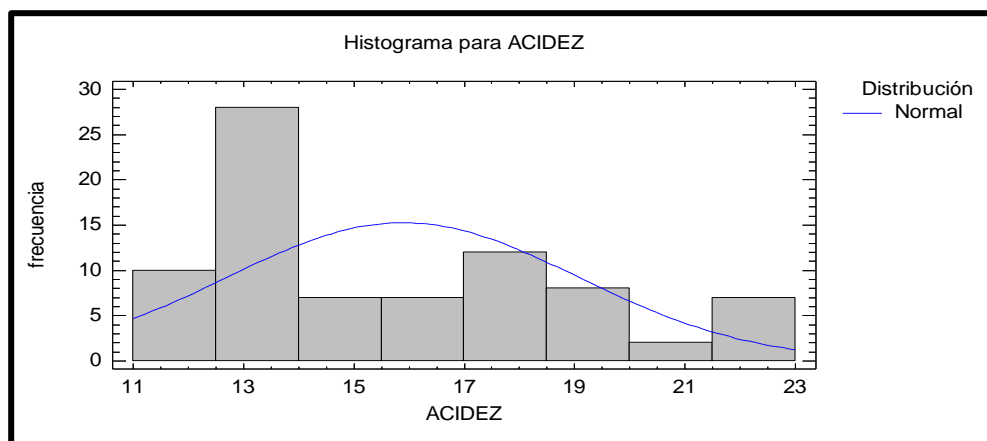


Figura 42 — Grafica de distribución normal

Anexo 2 — Análisis de varianza para la capacidad antioxidante con factor Kruskal-Wallis con la prueba de Tukey para las características fisicoquímicas (pH) (miel crema)

Tabla 24 — Variación de temperatura en pH de miel crema

Temperatura (°C)	Tamaño Muestra	Rango Promedio
5	27	40.8704
15	27	19.537
25	27	62.5926

Tabla 25 — Pruebas de múltiples rangos para pH por temperatura

Temperatura (°C)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
15	27	4.01963	c
5	27	4.15407	b
25	27	4.28926	a

Tabla 26 — Contraste de diferencias significativas entre las temperaturas de miel crema

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
5 - 15	*	0.134444	0.0622935
5 - 25	*	-0.135185	0.0622935
15 - 25	*	-0.26963	0.0622935

NOTA

* indica una diferencia significativa.



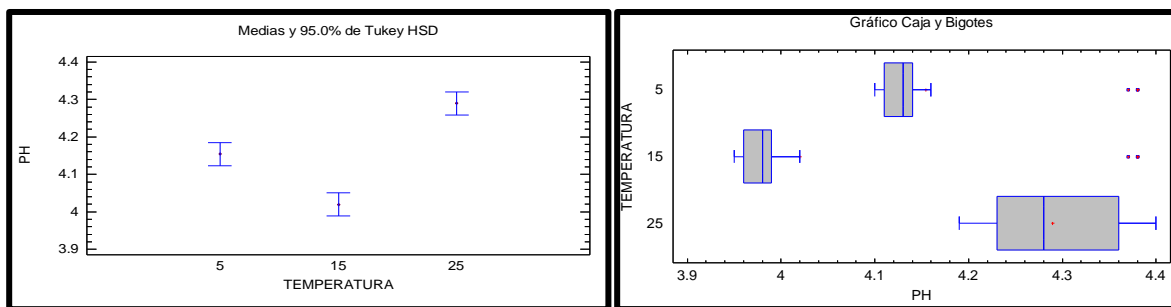


Figura 43 — Gráfico de cajas y bigotes

Tabla 27 — Prueba de normalidad para la variable independiente de pH

	Normal
DMAS	0.154326
DMENOS	0.0956237
DN	0.154326
Valor-P	0.0422084

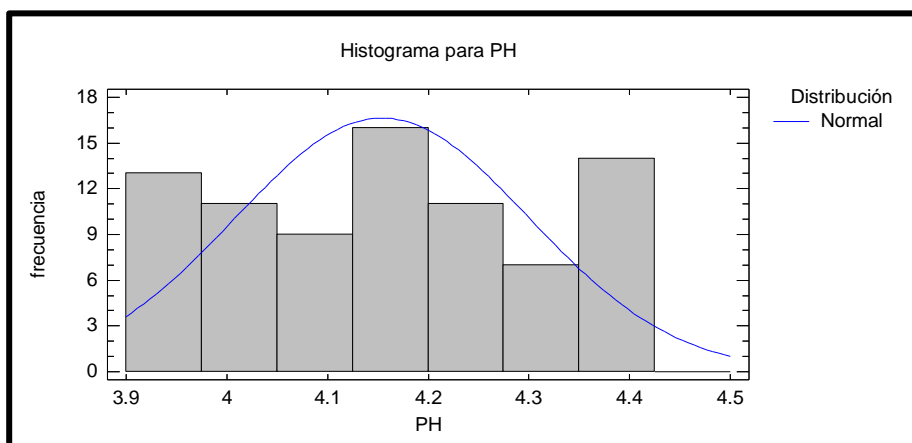


Figura 44 — Grafica de distribución normal

Anexo 3 — Análisis de varianza para la capacidad antioxidante con factor Kruskal-Wallis con la prueba de Tukey (miel crema)

Tabla 28 — Variación de las temperaturas

Temperatura (°C)	Tamaño Muestra	Rango Promedio
5	27	61.2593
15	27	23.1481
25	27	38.5926

Tabla 29 — Prueba de múltiples

Temperatura (°C)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
15	27	36.3659	c
25	27	44.0274	b
5	27	48.8106	a

Tabla 30 — Contraste de diferencias significativas entre las temperaturas de miel crema

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
5 - 15	*	12.4446	4.31022
5 - 25	*	4.78311	4.31022
15 - 25	*	-7.66152	4.31022

NOTA
* indica una diferencia significativa

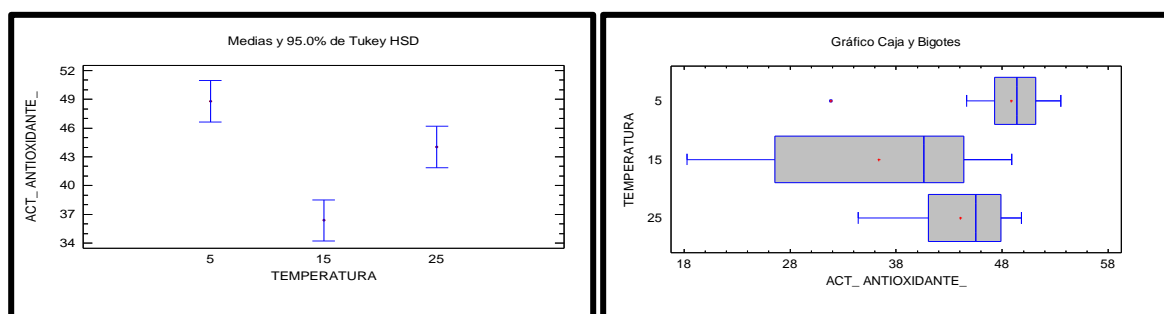


Figura 45 — Gráfico de cajas y bigotes

Tabla 31 — Prueba de normalidad para la variable de capacidad antioxidante

	Normal
DMAS	0.106785
DMENOS	0.159117
DN	0.159117
Valor-P	0.0330946

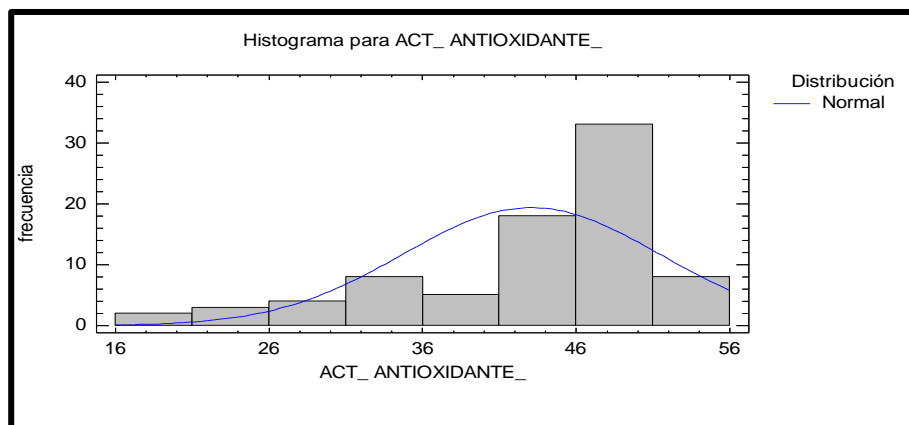


Figura 46 — Grafica de distribución normal

Anexo 4 — Análisis de varianza de características químicas (acidez) por tiempo con factor Kruskal - Wallis

Tabla 32 — Variación en el tiempo de almacenamiento por acidez

Tiempo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1	3	26.5
T1-2	3	26.5
T1-4	3	26.5
T2	3	50.5
T2-2	3	12.6667
T2-4	3	17.5
T3	3	43.6667
T3-2	3	32.6667
T3-4	3	9.83333
T4	3	48.1667
T4-2	3	42.0
T4-4	3	24.1667
T5	3	61.1667
T5-2	3	72.1667
T5-4	3	24.1667
T6	3	61.3333
T6-2	3	64.3333
T6-4	3	13.6667
T7	3	59.0
T7-2	3	67.3333
T7-4	3	14.3333
T8	3	63.1667
T8-2	3	76.8333
T8-4	3	26.5
T9	3	59.0
T9-2	3	77.3333
T9-4	3	6.0

Tabla 33 — Prueba de múltiples rangos para la acidez por tiempo

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T9-4	3	11.988	X
T3-4	3	12.321	XX
T2-2	3	12.6467	XX
T7-4	3	12.654	XX
T6-4	3	12.654	XX
T2-4	3	12.987	XX
T4-4	3	13.321	XXX
T5-4	3	13.321	XXX
T1	3	13.653	XXX
T1-4	3	13.653	XXX
T8-4	3	13.653	XXX
T1-2	3	13.653	XXX
T3-2	3	14.3187	XXXX
T4-2	3	14.985	XXXXX
T3	3	15.318	XXXXX
T4	3	16.317	XXXXX
T2	3	16.983	XXXXX
T9	3	17.982	XXXXX
T7	3	17.982	XXXXX
T6	3	18.315	XXXX
T5	3	18.6273	XXXX
T8	3	18.6487	XXXX
T6-2	3	19.4137	XXXX
T7-2	3	19.6467	XXX
T5-2	3	20.646	XX
T8-2	3	21.6283	X
T9-2	3	21.6447	X

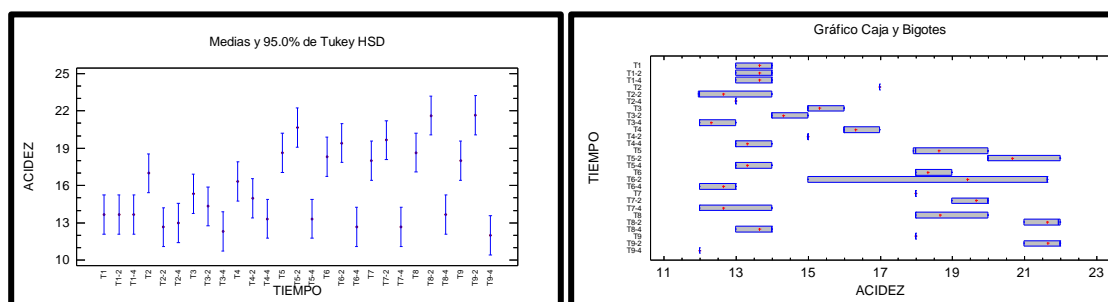


Figura 47 — Gráfico de medias, cajas y bigotes

Anexo 5 — Análisis de varianza de características químicas (pH) por tiempo con prueba de Kruskal – Wallis

Tabla 34 — Variación en el tiempo del pH

Tiempo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1	3	75.8333
T1-2	3	75.8333
T1-4	3	75.8333
T2	3	32.1667
T2-2	3	18.3333
T2-4	3	68.3333
T3	3	26.6667
T3-2	3	20.0
T3-4	3	74.1667
T4	3	46.3333
T4-2	3	3.33333
T4-4	3	53.5
T5	3	35.3333
T5-2	3	6.5
T5-4	3	60.5
T6	3	41.1667
T6-2	3	18.1667
T6-4	3	52.1667
T7	3	35.3333
T7-2	3	13.5
T7-4	3	58.5
T8	3	34.5
T8-2	3	13.6667
T8-4	3	55.8333
T9	3	40.5
T9-2	3	6.5
T9-4	3	64.5

Tabla 35 — Prueba de múltiples rangos para las características fisicoquímico (pH) por el tiempo

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T4-2	3	3.95667	X
T9-2	3	3.96333	X
T5-2	3	3.96333	X
T7-2	3	3.97667	X
T8-2	3	3.97667	X
T2-2	3	3.98667	X
T6-2	3	3.98667	X
T3-2	3	3.99	X
T3	3	4.10333	X
T2	3	4.11667	XX
T7	3	4.12333	XX
T8	3	4.12333	XX
T5	3	4.12333	XX
T9	3	4.13333	XX
T6	3	4.13667	XX
T4	3	4.15	X
T6-4	3	4.21333	X
T4-4	3	4.23	XX
T8-4	3	4.23667	XX
T7-4	3	4.25667	XX
T5-4	3	4.26	XX
T9-4	3	4.29667	X
T2-4	3	4.35667	X
T1-4	3	4.37667	X
T1-2	3	4.37667	X
T1	3	4.37667	X
T3-4	3	4.37667	X

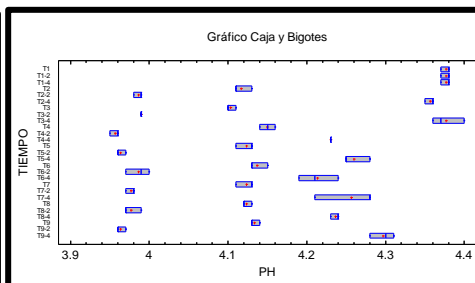
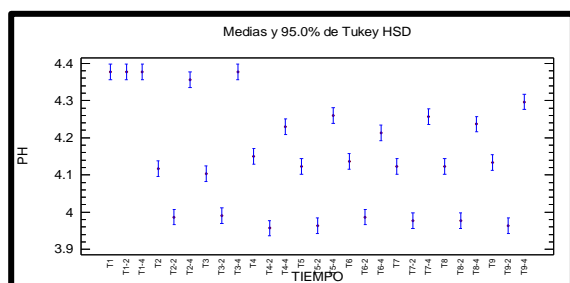


Figura 48 — Graficas de medias

Anexo 6 — Análisis de varianza para características bioactivo de capacidad antioxidante por el tiempo con factor Kruskal-Wallis con la prueba de Tukey

Tabla 36 — Variación en el tiempo de almacenamiento por la capacidad antioxidante

Tiempo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1	3	57.0
T1-2	3	57.0
T1-4	3	57.0
T2	3	52.3333
T2-2	3	4.0
T2-4	3	54.8333
T3	3	62.6667
T3-2	3	7.66667
T3-4	3	54.1667
T4	3	42.0
T4-2	3	3.33333
T4-4	3	52.0
T5	3	75.3333
T5-2	3	21.5
T5-4	3	28.6667
T6	3	74.6667
T6-2	3	29.3333
T6-4	3	26.3333
T7	3	67.0
T7-2	3	38.0
T7-4	3	41.6667
T8	3	76.3333
T8-2	3	26.3333
T8-4	3	18.0
T9	3	44.0
T9-2	3	21.1667
T9-4	3	14.6667

Tabla 37 — Pruebas de múltiples rangos para la capacidad antioxidante por el tiempo

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T4-2	3	21.3063	X
T2-2	3	23.2447	X
T3-2	3	28.872	XX
T9-4	3	36.3483	XX
T8-4	3	38.1793	XXX
T9-2	3	38.2803	XXXX
T5-2	3	38.3657	XXXXX
T8-2	3	41.643	XXXXX
T6-4	3	41.7877	XXXXX
T5-4	3	42.236	XXXXXX
T6-2	3	42.885	XXXXXX
T4	3	43.0393	XXXXXX
T7-2	3	44.3443	XXXXXX
T7-4	3	45.9573	XXXXXX
T9	3	46.7253	XXXXX
T4-4	3	47.2943	XXXXX
T2	3	47.2947	XXXXX
T3-4	3	48.016	XXXX
T2-4	3	48.076	XXX
T1-4	3	48.352	XX
T1-2	3	48.352	XX
T1	3	48.352	XX
T3	3	49.3513	XX
T7	3	49.7407	XX
T6	3	51.2197	XX
T5	3	51.6077	X
T8	3	51.9643	X

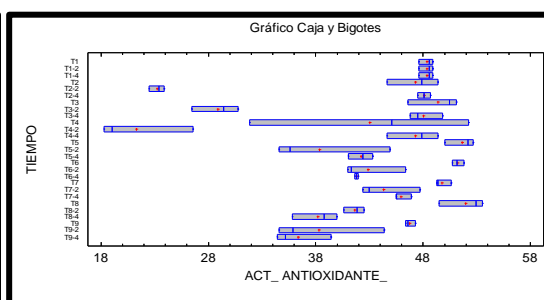
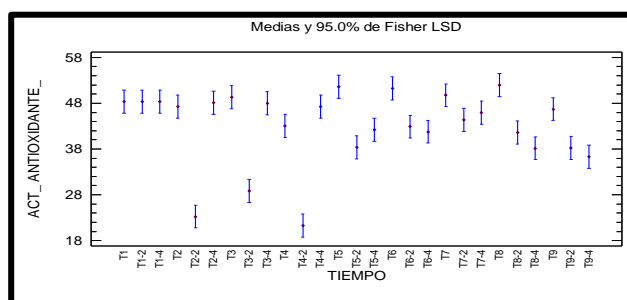


Figura 49 — Gráfico de medias



Anexo 7 — Análisis de varianza acidez de miel cristalizada con la prueba de Kruskal-Wallis con prueba de Tukey

Tabla 38 — Variación de acidez por temperatura de miel cristalizada

Temperatura (°C)	Tamaño Muestra	Rango Promedio
5	27	39.9444
15	27	55.963
25	27	27.0926

Tabla 39 — Prueba de múltiples rangos para la acidez

Temperatura (°C)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
25	27	13.653	c
5	27	14.8343	b
15	27	16.4589	c

Tabla 40 — Contraste de las diferentes temperaturas en miel cristalizada

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
5 – 15	*	-1.62456	1.11987
5 – 25	*	1.1813	1.11987
15 - 25	*	2.80585	1.11987

* indica una diferencia significativa

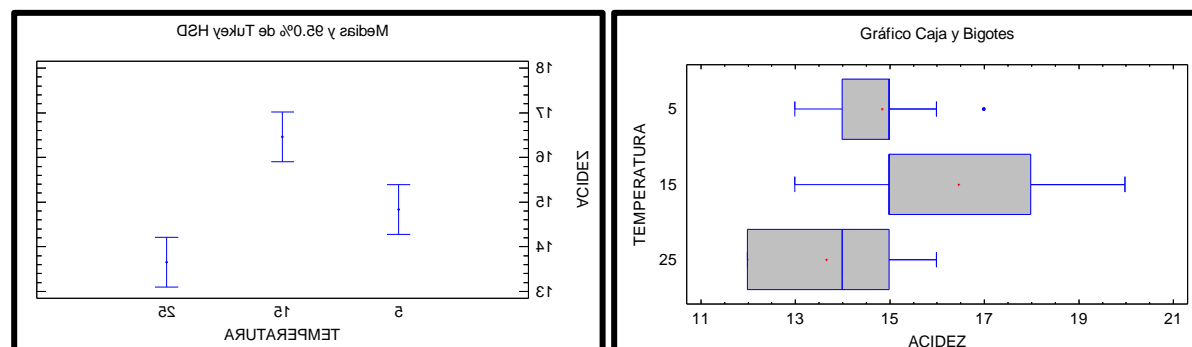


Figura 50 — Gráficos de cajas y bigotes

Tabla 41 — Prueba de normalidad para acidez en miel cristalizada

	Normal
DMAS	0.240173
DMENOS	0.113471
DN	0.240173
Valor-P	0.000174866

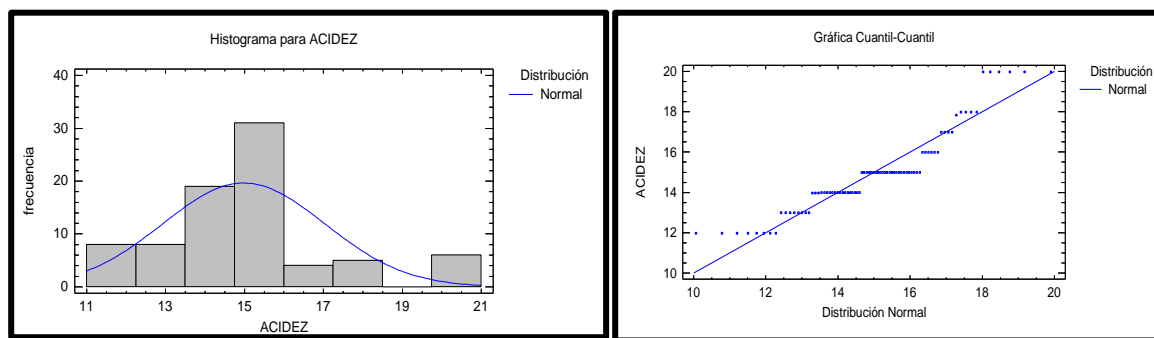


Figura 51 — Grafica de distribución normal

Anexo 8 — Análisis de varianza pH miel cristalizada con la prueba de Kruskal-Wallis

Tabla 42 — Efecto de Temperatura de pH

Temperatura (°C)	Tamaño Muestra	Rango Promedio
5	27	50.0741
15	27	25.6481
25	27	47.2778

Estadístico = 17.531 Valor-P = 0.000156027

Tabla 43 — Pruebas de Múltiple Rangos para pH por temperatura

TEMPERATURA	Casos	Media	Grupos Homogéneos
15	27	4.19296	a
5	27	4.26407	b
25	27	4.26519	a

Tabla 44 — Contraste de significancia

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
5 – 15	*	0.07111111	0.0395349
5 – 25		-0.00111111	0.0395349
15 – 25	*	-0.07222222	0.0395349



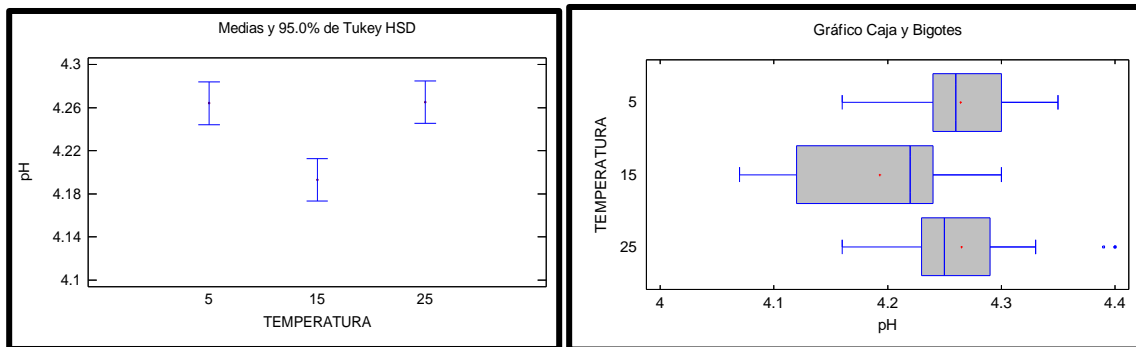


Figura 52 — Gráfico de cajas y bigotes

Tabla 45 — Prueba de normalidad para pH en miel cristalizada

	Normal
DMAS	0.0888251
DMENOS	0.122583
DN	0.122583
Valor-P	0.175373

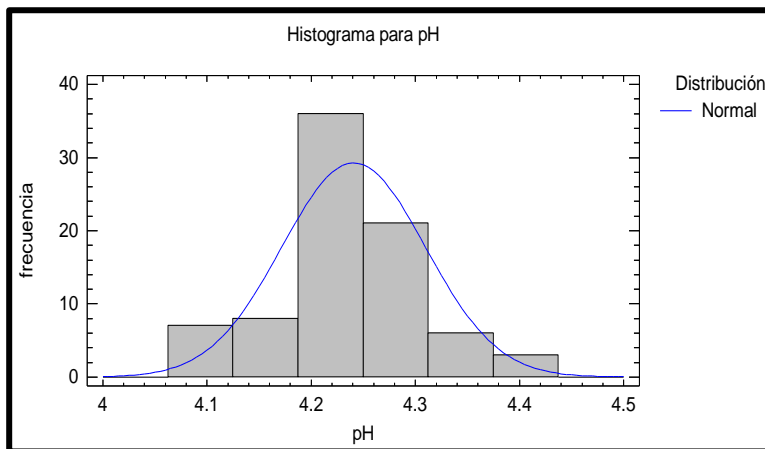


Figura 53 — Grafica de distribución

Anexo 9 — Análisis de varianza para la capacidad de antioxidante de miel cristalizada con la prueba de Kruskal-Wallis con prueba de Tukey.

Tabla 46 — Efecto de capacidad antioxidante por la temperatura de miel cristalizada

Temperatura (°C)	Tamaño Muestra	Rango Promedio
5	27	44.5556
15	27	50.6667
25	27	27.7778

Estadístico = 13.7077 Valor-P = 0.00105536

Tabla 47 — Prueba de múltiples rangos para capacidad antioxidante por temperatura

Temperatura °C	Casos	Media	Grupos Homogéneos
25	27	39.502	b
5	27	48.3315	a
15	27	49.9338	a

Tabla 48 — Contraste de diferencia

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
5 - 15		-1.60226	6.66942
5 - 25	*	8.82948	6.66942
15 - 25	*	10.4317	6.66942

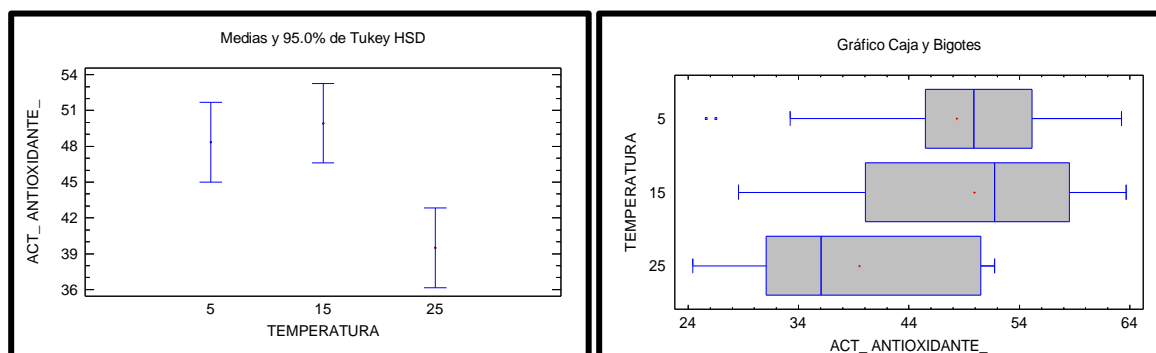


Figura 54 — Gráficos de cajas y bigotes

Tabla 49 — Prueba de normalidad para datos de capacidad antioxidante en miel cristalizada, prueba de Kolmogorov-Smimov

	Normal
DMAS	0.10523
DMENOS	0.17017
DN	0.17017
Valor-P	0.0183524

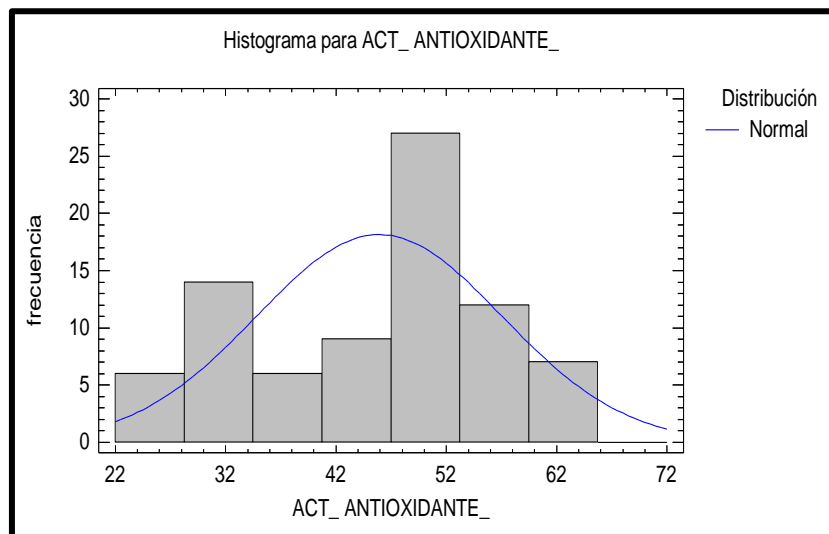


Figura 55 — Grafica de distribución

Anexo 10 — Análisis de varianza para la propiedad fisicoquímico por el tiempo con prueba de Kruskal-Wallis de miel cristalizada

Tabla 50 — Variación en el tiempo de almacenamiento de la acidez de miel cristalizada

Tiempo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1-1	3	43.6667
T1-3	3	43.6667
T1-5	3	43.6667
T2-1	3	16.6667
T2-3	3	24.5
T2-5	3	23.3333
T3-1	3	55.1667
T3-3	3	71.3333
T3-5	3	7.0
T4-1	3	55.1667
T4-3	3	77.1667
T4-5	3	9.5
T5-1	3	68.5
T5-3	3	43.6667
T5-5	3	4.5
T6-1	3	36.1667
T6-3	3	51.0
T6-5	3	12.6667
T7-1	3	26.1667
T7-3	3	39.3333
T7-5	3	24.5
T8-1	3	18.0
T8-3	3	74.5
T8-5	3	55.1667
T9-1	3	40.0
T9-3	3	78.5
T9-5	3	63.5

La Tabla Kruskal-Wallis para la acidez de la miel cristalizada de los tres tiempos (160, 96 y 16 días), demuestran que si existe una diferencia significativa puesto que el valor ($p < 0005$), con un nivel del 95% de confianza.

Tabla 51 — Prueba de múltiples rangos para acidez de miel cristalizada por el tiempo

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T5-5	3	11.988	X
T3-5	3	12.321	XX
T4-5	3	12.654	XXX
T6-5	3	12.654	XXX
T2-1	3	13.3197	XXXX
T2-5	3	13.653	XXXXX
T7-5	3	13.6533	XXXXX
T2-3	3	13.6533	XXXXX
T8-1	3	13.968	XXXX
T7-1	3	14.3163	XXXX
T6-1	3	14.65	XXX
T7-3	3	14.6513	XXX
T5-3	3	14.652	XXX
T1-1	3	14.652	XXX
T1-3	3	14.652	XXX
T1-5	3	14.652	XXX
T9-1	3	14.984	XXX
T6-3	3	14.985	XXX
T3-1	3	15.318	XXX
T8-5	3	15.318	XXX
T4-1	3	15.318	XXX
T9-5	3	15.984	XXX
T5-1	3	16.983	XXX
T3-3	3	17.5957	XXX
T8-3	3	18.6467	XXX
T4-3	3	19.314	XX
T9-3	3	19.98	X

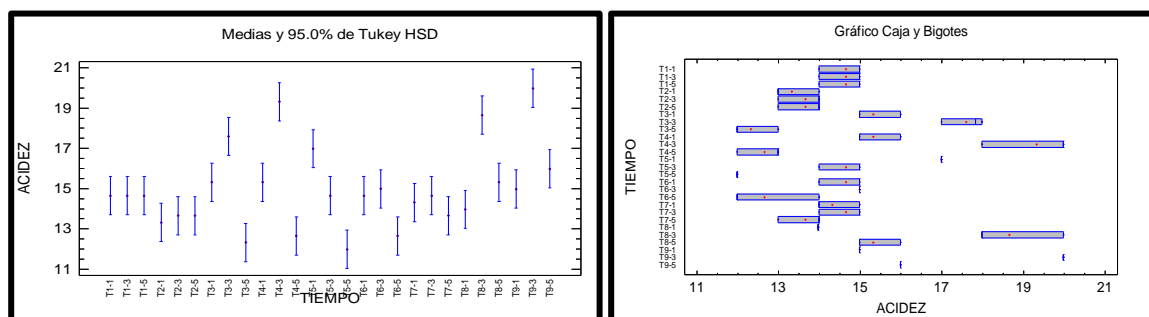


Figura 56 — Gráficos de cajas y bigotes

Anexo 11 — Análisis de varianza para la propiedad fisicoquímico por el tiempo con prueba de Kruskal-Wallis de miel cristalizada

Tabla 52 — Variación en el tiempo de almacenamiento de la pH de miel cristalizada

Tiempo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1-1	3	23.8333
T1-3	3	23.8333
T1-5	3	23.8333
T2-1	3	76.5
T2-3	3	40.6667
T2-5	3	37.3333
T3-1	3	63.8333
T3-3	3	67.3333
T3-5	3	40.6667
T4-1	3	71.6667
T4-3	3	36.6667
T4-5	3	46.0
T5-1	3	50.3333
T5-3	3	12.3333
T5-5	3	80.0
T6-1	3	55.6667



Tabla 53 — Pruebas de múltiples rangos para pH de miel cristalizada por tiempo

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T9-3	3	4.09333	X
T8-3	3	4.1	X
T7-3	3	4.15667	XX
T5-3	3	4.17333	XXX
T1-3	3	4.20667	XXX
T1-5	3	4.20667	XXX
T1-1	3	4.20667	XXX
T9-1	3	4.21	XXXX
T8-1	3	4.21667	XXXX
T6-3	3	4.23	XXXXX
T4-3	3	4.23667	XXXXX
T2-5	3	4.23667	XXXXX
T2-3	3	4.24333	XXXXX
T9-5	3	4.24667	XXXXX
T3-5	3	4.24667	XXXXX
T8-5	3	4.25	XXXX
T7-5	3	4.25	XXXX
T5-1	3	4.25667	XXXX
T4-5	3	4.25667	XXXX
T7-1	3	4.25667	XXXX
T6-1	3	4.26333	XXXXX
T6-5	3	4.29667	XXXX
T3-3	3	4.29667	XXXX
T3-1	3	4.3	XXX
T4-1	3	4.31667	XXX
T2-1	3	4.35	XX
T5-5	3	4.39667	X

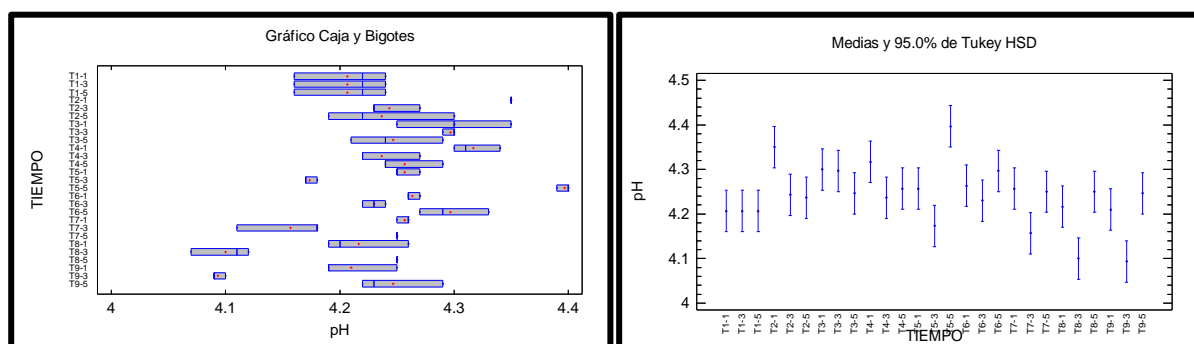


Figura 57 — Grafica de cajas y bigotes

Anexo 12 — Análisis de varianza para la propiedad de capacidad antioxidante por el tiempo con prueba de Kruskal-Wallis de miel cristalizada

Tabla 54 — Variación en el tiempo de almacenamiento de la capacidad antioxidante de miel cristalizada

Tiempo	Tamaño muestra	Rango promedio
T1-1	3	53.0
T1-3	3	53.0
T1-5	3	53.0
T2-1	3	41.6667
T2-3	3	22.3333
T2-5	3	52.0
T3-1	3	32.6667
T3-3	3	24.6667
T3-5	3	41.6667
T4-1	3	72.6667
T4-3	3	12.0
T4-5	3	43.0
T5-1	3	67.3333
T5-3	3	71.6667
T5-5	3	14.0
T6-1	3	47.6667
T6-3	3	49.3333
T6-5	3	16.6667
T7-1	3	45.0
T7-3	3	75.6667
T7-5	3	18.3333
T8-1	3	29.6667
T8-3	3	73.0
T8-5	3	9.33333
T9-1	3	11.3333
T9-3	3	74.3333
T9-5	3	2.0

La Tabla Kruskal-Wallis para la capacidad de antioxidante de la miel cristalizada de los tres tiempos (160, 96 y 16 días), demuestran que si existe una diferencia significativa puesto que el valor ($p < 0005$), con un nivel del 95% de confianza.

Tabla 55 — Prueba de múltiples de capacidad antioxidante por el tiempo

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T9-5	3	25.0767	X
T9-1	3	29.6213	XX
T8-5	3	29.915	XX
T4-3	3	31.0007	XX
T5-5	3	32.072	XX
T6-5	3	33.2303	XXX
T7-5	3	33.9987	XXX
T2-3	3	37.9677	XXX
T3-3	3	39.6143	XXXX
T8-1	3	44.3637	XXXX
T7-1	3	45.6433	XXXX
T3-1	3	45.9577	XXXX
T4-5	3	49.3513	XXXXX
T3-5	3	49.7063	XXXXX
T2-1	3	49.7063	XXXXX
T6-3	3	50.6333	XXXXX
T2-5	3	51.0347	XXXXX
T1-5	3	51.1333	XXXX
T1-1	3	51.1333	XXXX
T1-3	3	51.1333	XXXX
T6-1	3	51.6297	XXXX
T5-1	3	56.8857	XXX
T5-3	3	59.1187	XX
T8-3	3	59.286	XX
T9-3	3	59.7177	XX
T4-1	3	60.0427	XX
T7-3	3	60.9323	X

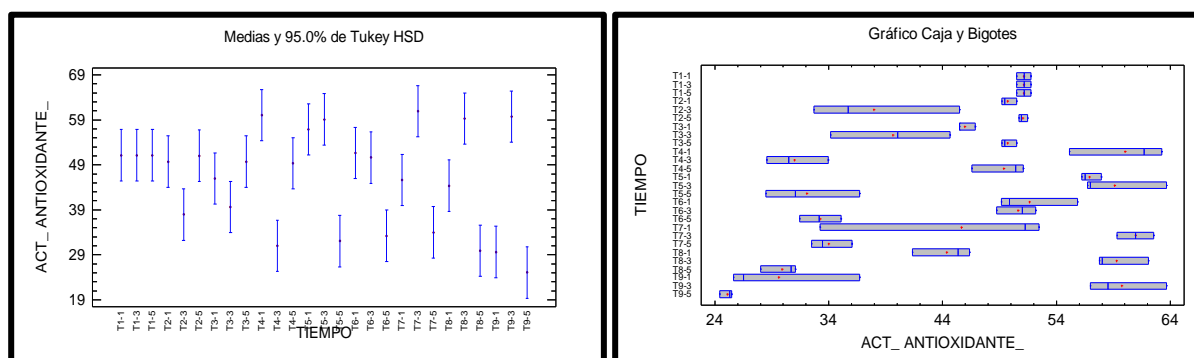


Figura 58 — Gráfico de medias

Tabla 56 — Resultado de la variación del % de acidez de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)

RESULTADO DE ACIDEZ (meq/Kg) DE MIEL CREMA					
5 °C		15 °C		25 °C	
t (días)	meq/Kg	t (días)	meq/Kg	t (días)	meq/Kg
0	13,653	0	13,653	0	13,653
20	16,983	12	12,647	2	12,987
40	15,318	24	14,319	4	12,321
60	16,317	36	14,985	6	13,321
80	18,627	48	20,646	8	13,321
100	18,315	60	19,414	10	12,654
120	17,982	72	19,647	12	12,654
140	18,692	84	21,628	14	13,653
160	17,982	96	21,645	16	13,800

Tabla 57 — Resultado de la variación del pH de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)

RESULTADO DE pH DE MIEL CREMA					
5 °C		15 °C		25 °C	
t (días)	pH	t (días)	pH	t (días)	pH
0	4,377	0	4,377	0	4,377
20	4,117	12	3,987	2	4,357
40	4,103	24	3,99	4	4,377
60	4,15	36	3,957	6	4,230
80	4,123	48	3,963	8	4,260
100	4,137	60	3,987	10	4,216
120	4,123	72	3,977	12	4,257
140	4,123	84	3,977	14	4,257
160	4,133	96	3,963	16	4,190

Tabla 58 — Resultado de la variación de % de inhibición de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)

RESULTADO DE % DE INHIBICIÓN DE MIEL CREMA					
5 °C		15 °C		25 °C	
t (días)	% de Inhibición	t (días)	% de Inhibición	t (días)	% de Inhibición
0	48,352	0	48,352	0	48,352
20	47,295	12	23,245	2	48,076
40	49,351	24	28,872	4	48,016
60	43,039	36	21,306	6	47,294
80	51,608	48	38,366	8	42,236
100	51,22	60	42,885	10	41,788
120	49,741	72	44,344	12	45,957
140	51,964	84	41,643	14	38,179
160	46,725	96	38,28	16	36,348

Tabla 59 — Resultado de la variación del % de acidez de miel cristalizada a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)

RESULTADO DE ACIDEZ (meq/Kg) DE MIEL CRISTALIZADA					
5 °C		15 °C		25 °C	
t (días)	meq/Kg	t (días)	meq/Kg	t (días)	meq/Kg
0	14,652	0	14,652	0	14,652
20	13,32	12	13,653	2	13,986
40	15,318	24	17,596	4	11,988
60	15,318	36	19,314	6	11,988
80	16,983	48	14,652	8	11,988
100	14,65	60	14,985	10	13,986
120	15,316	72	14,651	12	13,986
140	13,968	84	18,647	14	13,986
160	14,984	96	19,98	16	15,984

Tabla 60 — Resultado de la variación del pH de miel cristalizada a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)

RESULTADO DE pH DE MIEL CRISTALIZADA					
5 °C		15 °C		25 °C	
t (días)	pH	t (días)	pH	t (días)	pH
0	4,207	0	4,207	0	4,207
20	4,350	12	4,243	2	4,237
40	4,300	24	4,297	4	4,247
60	4,317	36	4,237	6	4,257
80	4,257	48	4,173	8	4,257
100	4,263	60	4,230	10	4,257
120	4,257	72	4,157	12	4,250
140	4,217	84	4,100	14	4,250
160	4,210	96	4,093	16	4,247

Tabla 61 — Resultado de la variación de % de inhibición de miel cristalizada a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)

RESULTADO DE % DE INHIBICIÓN DE MIEL CRISTALIZADA					
5 °C		15 °C		25 °C	
t (días)	% de Inhibición	t (días)	% de Inhibición	t (días)	% de Inhibición
0	51,133	0	51,133	0	51,133
20	49,704	12	37,968	2	51,035
40	45,958	24	39,614	4	49,706
60	60,043	36	31,001	6	49,351
80	56,886	48	59,119	8	32,072
100	51,630	60	50,633	10	33,230
120	45,643	72	60,932	12	33,999
140	44,364	84	59,286	14	29,915
160	29,621	96	59,718	16	25,077

Tabla 62 — Resultado de la variación de hidroximetilfurfural de miel crema a temperatura (5, 15 y 25 °C) y tiempo de (160, 96 y 16 días)

5 °C		15 °C		25 °C	
t (días)	mg/l de HMF	t (días)	mg/l de HMF	t (días)	mg/l de HMF
0	10,8	0	10,8	0	10,8
20	9,2	12	11,2	2	7,6
40	10,4	24	7,2	4	9,2
60	12,8	36	8,6	6	7,6
80	16	48	9,2	8	10,8
100	15,3	60	13,2	10	7,6
120	14,4	72	15,6	12	10,8
140	21,6	84	17,8	14	13,9
160	25,6	96	20,8	16	16,5

Tabla 63 — Resultado de la variación de ln(hidroximetilfurfural) de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)

5 °C			15 °C			25 °C		
t (días)	mg/l de HMF	Ln (mg/l de HMF)	t (días)	mg/l de HMF	Ln (mg/l de HMF)	t (días)	mg/l de HMF	Ln (mg/l de HMF)
0	10,8	2,380	0	10,8	2,380	0	10,8	2,380
20	9,2	2,219	12	11,2	2,416	2	7,6	2,028
40	10,4	2,342	24	7,2	1,974	4	9,2	2,219
60	12,8	2,549	36	8,6	2,152	6	7,6	2,028
80	16,0	2,773	48	9,2	2,219	8	10,8	2,380
100	15,3	2,728	60	13,2	2,580	10	7,6	2,028
120	14,4	2,667	72	15,6	2,747	12	10,8	2,380
140	21,6	3,073	84	17,8	2,879	14	13,9	2,632
160	25,6	3,243	96	20,8	3,035	16	16,5	2,803

Tabla 64 — Resultado de la variación de viscosidad (Pa.s) de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)

5 °C		15 °C		25 °C	
t (días)	Pa.s	t (días)	Pa.s	t (días)	Pa.s
0	125,75	0	125,75	0	125,75
20	737,50	12	670,500	2	89,00
40	940,75	24	684,25	4	985,00
60	984,63	36	711,75	6	149,75
80	979,25	48	633,25	8	117,25
100	986,74	60	632,50	10	132,75
120	917,75	72	670,50	12	135,50
140	947,68	84	681,25	14	199,50
160	977,88	96	693,25	16	201,25

Tabla 65 — Resultado de la variación de viscosidad ln(Pa.s) de miel crema a temperaturas (5, 15 y 25 °C) y tiempos de (160, 96 y 16 días)

5 °C			15°C			25°C		
t (días)	Pa.s	Ln (Pa.s)	t (días)	Pa.s	Ln (Pa.s)	t (días)	Pa.s	Ln (Pa.s)
0	125,75	4,834	0	125,75	4,834	0	125,75	4,834
20	737,50	6,603	12	670,50	6,508	2	89,00	4,489
40	940,75	6,847	24	684,25	6,528	4	98,50	4,590
60	984,63	6,892	36	654,25	6,483	6	149,75	5,009
80	979,25	6,887	48	633,25	6,451	8	117,25	4,764
100	986,74	6,894	60	632,50	6,450	10	132,75	4,888
120	917,75	6,822	72	670,50	6,508	12	135,50	4,909
140	947,68	6,854	84	681,25	6,524	14	199,50	5,296
160	977,88	6,885	96	693,25	6,541	16	201,25	5,305

Tabla 66— Resultado de la variación de color (luminosidad) de miel crema a temperatura (5, 15 y 25 °C) y tiempo de (160, 96 y 16 días)

5 °C		15 °C		25 °C	
t (días)	L	t (días)	L	t (días)	L
0	74,21	0	74,21	0	74,21
20	74,04	12	72,44	2	69,09
40	71,78	24	71,72	4	64,95
60	72,43	36	69,99	6	64,59
80	72,43	48	69,73	8	64,52
100	69,6	60	70,83	10	63,04
120	69,55	72	70,12	12	62,63
140	69,21	84	68,86	14	62,81
160	69,32	96	66,68	16	61,27

Tabla 67— Resultado de la variación color ln(luminosidad) de miel crema a temperatura (5, 15 y 25 °C) y tiempo de 160, 96 y 16 días)

5 °C			15 °C			25 °C		
t (días)	L*	Ln(L)	t (días)	L*	Ln(L)	t (días)	L*	Ln(L)
0	74,21	4,307	0	74,21	4,307	0	74,21	4,307
20	74,04	4,305	12	72,44	4,283	2	69,09	4,235
40	71,78	4,274	24	71,72	4,273	4	64,95	4,174
60	72,43	4,283	36	69,99	4,248	6	64,59	4,168
80	72,43	4,283	48	69,73	4,245	8	64,52	4,167
100	69,60	4,243	60	70,83	4,260	10	63,04	4,144
120	69,55	4,242	72	70,12	4,250	12	62,63	4,137
140	69,21	4,237	84	68,86	4,232	14	62,81	4,140
160	69,32	4,239	96	66,68	4,200	16	61,27	4,115

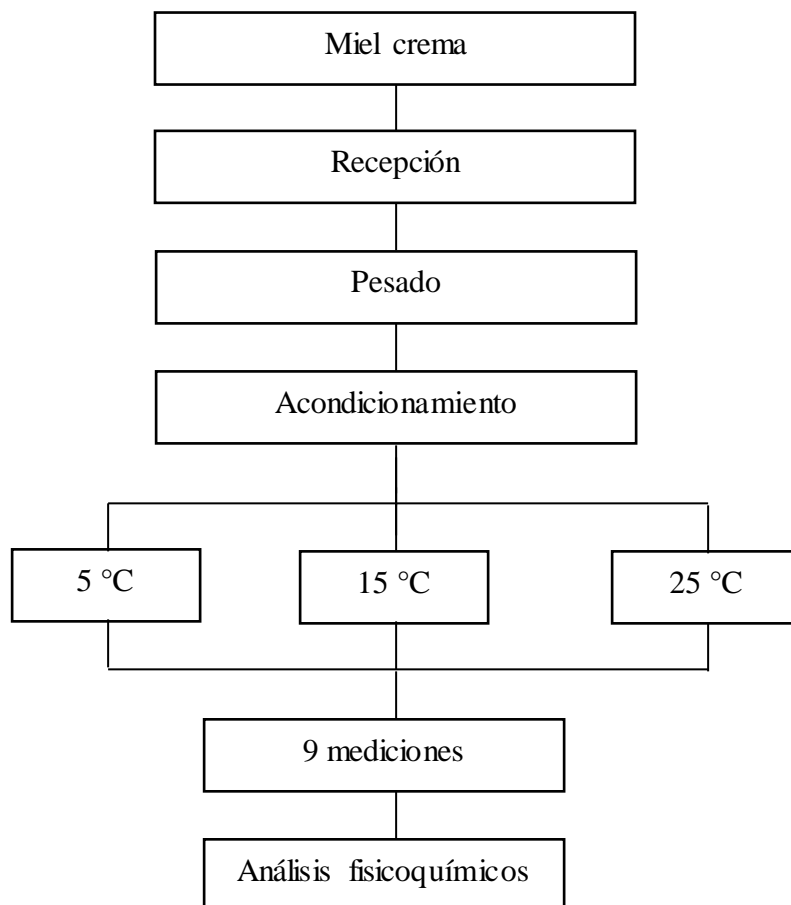


Figura 59 — Flujograma para determinación de las características fisicoquímicas de miel crema

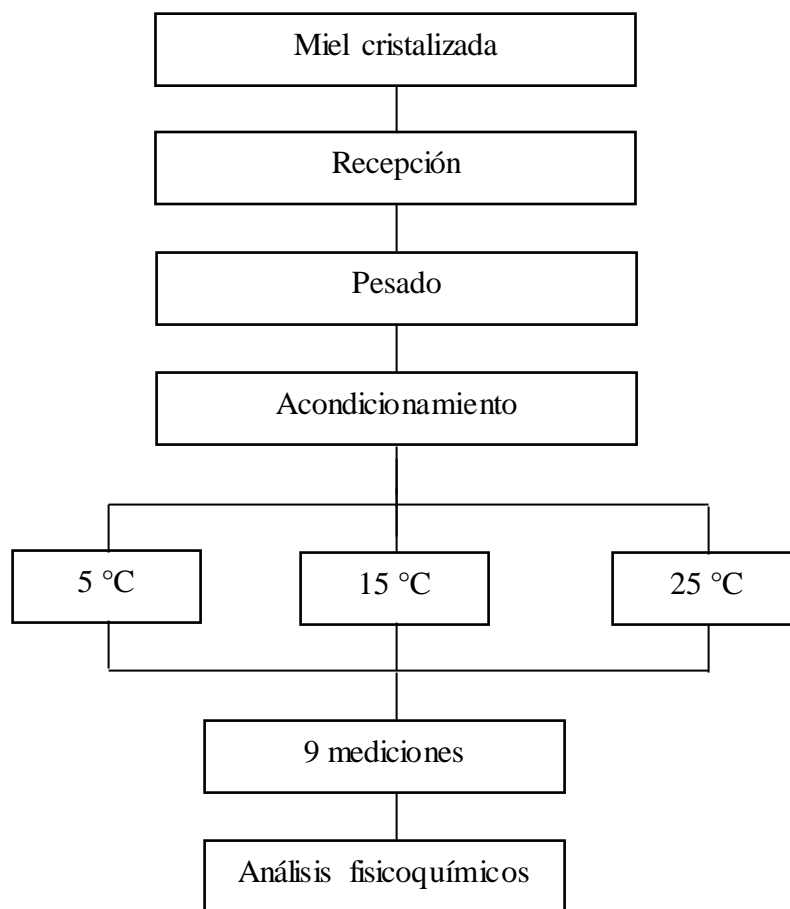


Figura 60 — Flujograma para determinación de las características fisicoquímicas de miel cristalizada

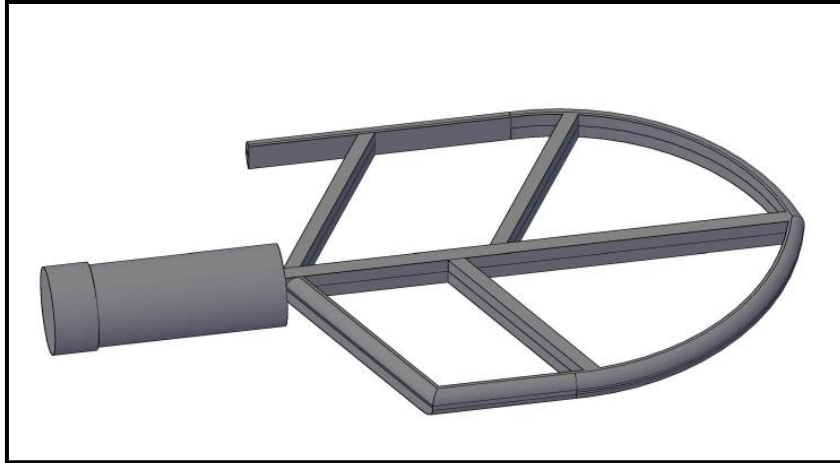


Figura 61 — Paleta mezcladora

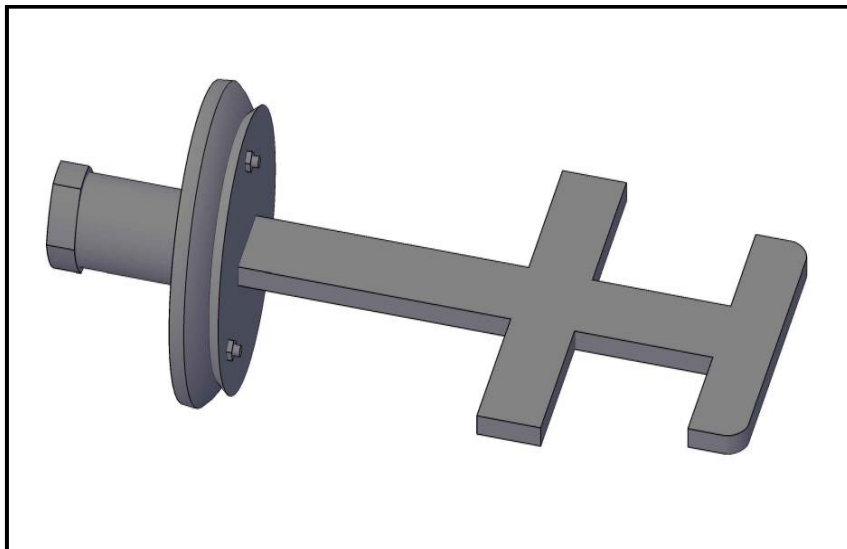


Figura 62 — Paleta diseñada doble hélice



Figura 63 — Análisis de color (luminosidad) de miel



Figura 64 — Determinación de Hidroximetilfurfural (HMF)



Figura 65 — Análisis del espectro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)



Figura 66 — Determinación de grasa por Soxhlet



Figura 67 — Batidora industrial



Figura 68 — Batido de miel crema



Figura 69 — Determinación de la viscosidad

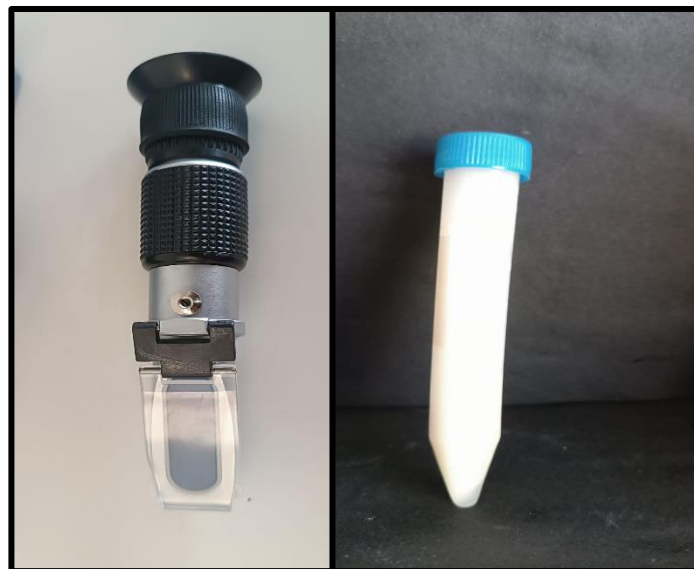


Figura 70 — Determinación de la humedad



Figura 71 — Miel cristalizada



Figura 72 — Miel crema



Figura 73 — Miel crema envasada para la determinación de vida útil



Figura 74 — Almacenamiento de miel crema y miel cristalizada a una temperatura de 5 °C



Figura 75 — Almacenamiento de miel crema y miel cristalizada a una temperatura de 15 °C



Figura 76 — Almacenamiento de miel crema y miel cristalizada a una temperatura de 25 °C

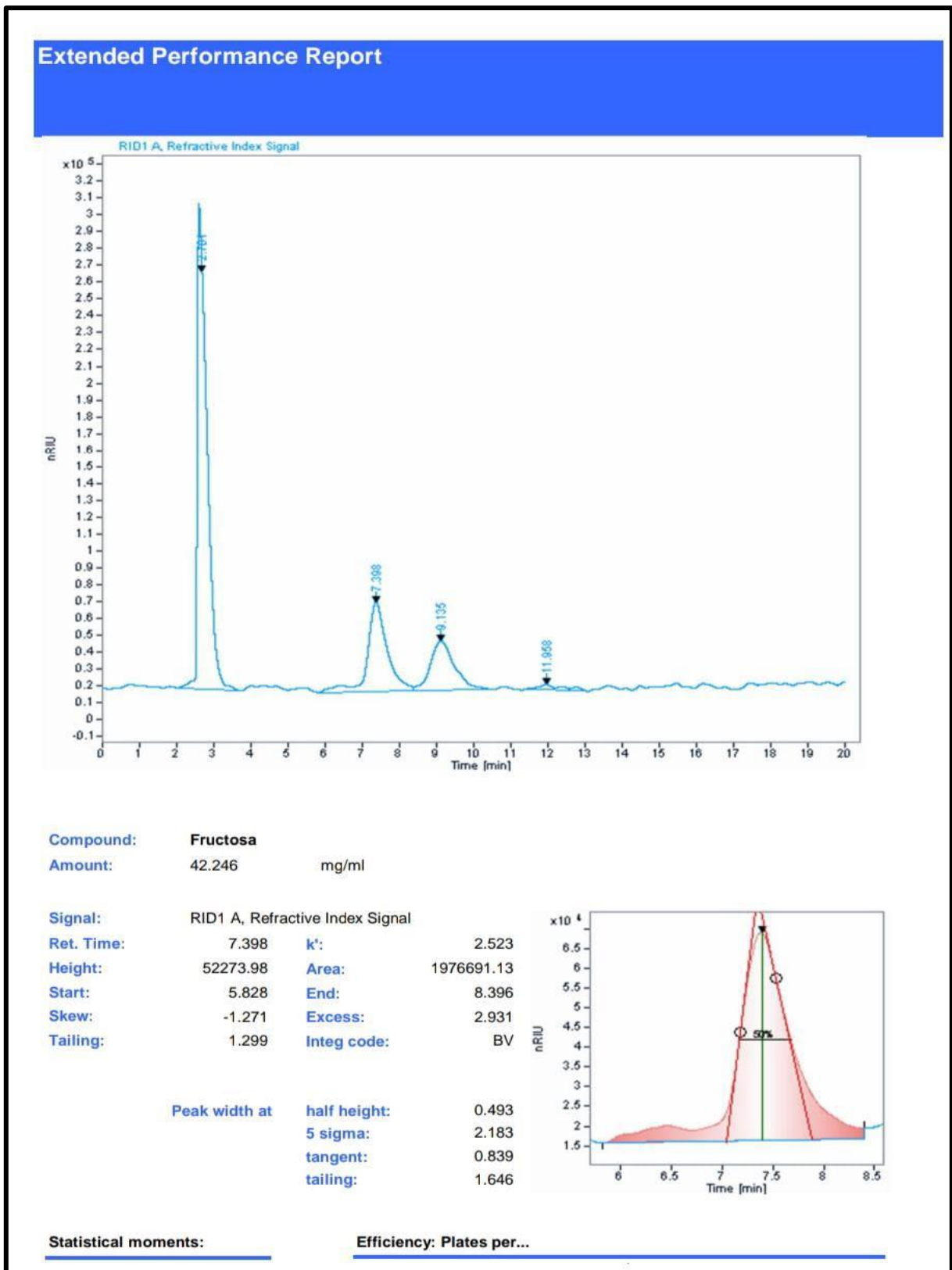


Figura 77 — Resultados de HPLC de la fructosa en miel crema

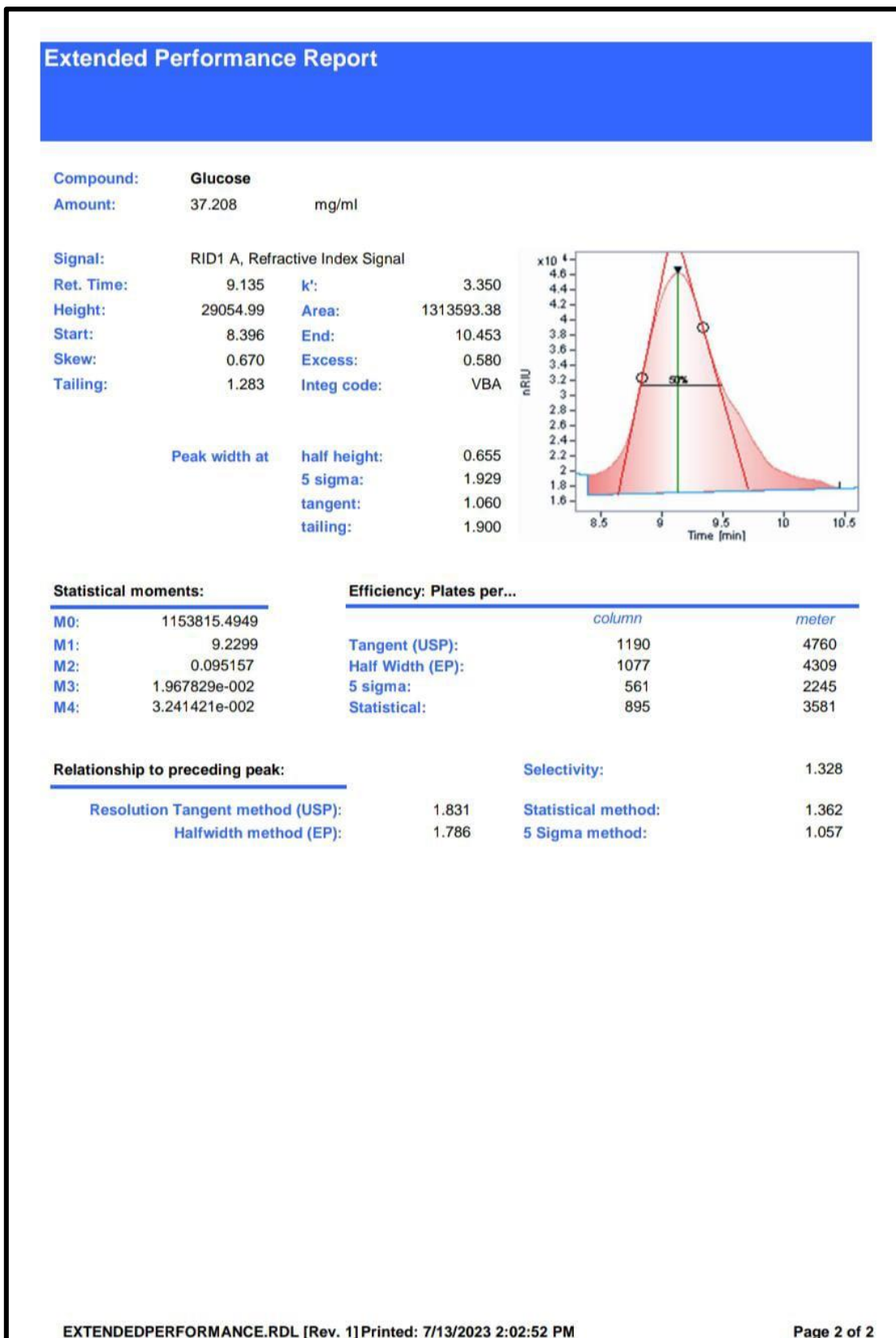


Figura 78 — Resultados de HPLC de glucosa en miel crema

