

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD NUTRACÉUTICA DE LA MIEL DE ABEJA
EN CUATRO MUNICIPIOS DE LA COMARCA LAGUNERA

Tesis

Que presenta ARTURO PACHECO LUNA
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Noviembre 2025

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD NUTRACÉUTICA DE LA MIEL DE ABEJA
EN CUATRO MUNICIPIOS DE LA COMARCA LAGUNERA

Tesis

Elaborada por ARTURO PACHECO LUNA como requisito parcial para
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. José Luis Reyes Carrillo
Director de Tesis



Dra. María Del Rosario Moncayo Luján
Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores, Al Dr. José Luis Reyes Carrillo, por haberme brindado la oportunidad de trabajar bajo su dirección, por compartir generosamente su conocimiento y experiencia, por su guía constante, su tiempo, su motivación y su compromiso, que fueron fundamentales para la culminación de este trabajo. A la Dra. María del Rosario Moncayo Lujan, por su tiempo, su constante disposición para orientarme y su confianza al abrirme camino en nuevos espacios. Le agradezco profundamente su apoyo y las experiencias que me brindó, las cuales contribuyeron de manera significativa a mi crecimiento académico y personal. A la Dra. Dalia Ivette Carrillo, por su disposición y por formar parte del comité asesor de este trabajo, así como por las observaciones y el acompañamiento brindados durante su desarrollo.

A Guadalupe Flores Salas, por su valioso apoyo, su tiempo y su disposición para orientarme durante este proceso. Le agradezco profundamente su paciencia, sus consejos y el siempre alentarme a seguir adelante.

A mi universidad, por abrirme nuevamente sus puertas y brindarme la oportunidad de seguir formándome. En especial, al Programa de Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, por proporcionarme las herramientas y los conocimientos necesarios para continuar con mi desarrollo profesional.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por el financiamiento brindado durante este tiempo para la realización de este proyecto y por fomentar la investigación científica en el país.

DEDICATORIAS

A mis padres, Arturo Pacheco Rodríguez y Martha Luna Ortega, por su amor incondicional, su apoyo constante y toda su comprensión. Gracias por ser mi ejemplo de esfuerzo y dedicación, por motivarme a seguir adelante y por enseñarme el valor de la perseverancia.

A mis hermanos, Alfredo Pacheco Luna y Martha Esperanza Pacheco Luna, A mis hermanos, por su constante apoyo, sus consejos y por estar siempre a mi lado brindándome su cariño, comprensión y guía. Gracias por ser parte fundamental de mi vida y por acompañarme en cada paso de este camino.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS.....	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
LISTA DE CUADROS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 Introducción a la apicultura.....	2
2.1.1 Historia y evolución de la apicultura	2
2.1.2 Importancia económica y ecológica de la apicultura.....	4
2.1.3 Principales especies de abejas productoras de miel.....	5
2.2 Producción de miel	6
2.2.1 Ciclo de producción de miel	8
2.2.2 Factores que influyen en la calidad de la miel (flora, clima, manejo)...	8
2.3 Composición química de la miel de abeja	10
2.3.1 Azúcares presentes en la miel.....	11
2.3.2 Vitaminas, minerales y enzimas.....	11
2.3.3 Compuestos fenólicos y antioxidantes.....	12
2.4 Propiedades nutraceuticas de la miel.....	13
2.4.1 Definición y concepto de alimento nutraceutico.....	15
2.4.2 Propiedades funcionales de la miel (antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria).....	17
2.4.3 Mecanismos de acción de los compuestos bioactivos	18
2.5 Factores que influyen en la calidad nutraceutica de la miel	18
2.5.1 Prácticas apícolas y técnicas de procesamiento	19
2.5.2 Época de cosecha y condiciones de almacenamiento.....	20
2.6 Métodos de análisis de calidad nutraceutica	21

2.6.1 Parámetros	21
2.6.2 Métodos fisicoquímicos (pH, humedad, acidez, conductividad eléctrica)	22
2.6.3 Métodos bioquímicos	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
Área de estudio	25
Muestreo	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
Humedad	32
Grados Brix	33
Color	34
Acidez (pH)	34
Nutracéuticos	35
Fenólicos totales	35
Flavonoides	36
Origen botánico	36
Análisis melisopalínológico	37
V. CONCLUSIONES	39
VI. LITERATURA CITADA	40

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Etapas de la producción de la miel (Díaz & López, 2016).....	8
Cuadro 2. Azúcares presentes en la miel (Nyarko et al., 2024).....	111
Cuadro 3. Vitaminas, minerales y enzimas presentes en la miel	12
Cuadro 4. Propiedades nutraceuticas de la miel (Aga et al., 2023b; Wang et al., 2023).	14
Cuadro 5. Propiedades biológicas y mecanismos de acción de los compuestos bioactivos (González-Pérez, Figueredo-Urbina, Luna-Rodríguez, Robles-Ortiz, et al., 2024)	188
Cuadro 6. Prácticas apícolas (Babarinde, Babarinde, Adegbola, & Ajayeoba, 2011).	199
Cuadro 7. Propiedades fisicoquímicas de la miel (García-Chaviano et al., 2022)... ..	22
Cuadro 8. Variables fisicoquímicas de la miel de abeja de primavera y verano de cuatro municipios de La Comarca Lagunera.	322
Cuadro 9. Variables nutraceuticas de la miel de abeja de primavera y verano de cuatro municipios de La Comarca Lagunera.	366
Cuadro 10. Variables del origen botánico de la miel de abeja de primavera de cuatro municipios de La Comarca Lagunera.	377
Cuadro 11. Variables del origen botánico de la miel de abeja de verano de cuatro municipios de La Comarca Lagunera.	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relación de conceptos: alimentos nutraceuticos y funcionales (Vázquez-González et al., 2020)	166
Figura 2. Municipios de colecta en la Comarca Lagunera (INEGI, 2025)	266
Figura 3. Toma de muestra en alza estándar de colmena	277
Figura 4. Toma de lectura para la medición de sólidos solubles y humedad con el refractómetro para miel marca AN-KA® modelo 106b	28
Figura 5. Muestras de miel de abeja de la primera temporada para la determinación del color mediante el fotocolorímetro Hanna® modelo c-221	28
Figura 6. Potenciómetro marca HANNA Instruments® modelo HI5521-01 para determinación del pH.	29
Figura 7. Muestras procesadas de miel de abeja para la determinación de compuestos fenólicos	29
Figura 8. Espectrofotómetro UV-Visible modelo GENESYS 6.	30
Figura 9. Toma de lecturas para identificación de polen en la miel para determinación de origen botánico	30

RESUMEN

Determinación de la calidad nutracéutica de la miel de abeja en cuatro municipios de la Comarca Lagunera.

Arturo Pacheco Luna

Para obtener el grado el grado de Maestro en Ciencias en Producción
Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. José Luis Reyes Carrillo

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar las propiedades fisicoquímicas, composición y potencial nutracéutico de la miel producida en cuatro municipios de la Comarca Lagunera, con el fin de evaluar su calidad y valor agroalimentario. Se analizaron variables como humedad, °Brix, color, pH, compuestos fenólicos totales y flavonoides, durante dos temporadas de recolección: primavera y verano. Los resultados indicaron diferencias significativas entre temporadas en humedad, °Brix y color, con mayor humedad y tonalidad más oscura en la segunda temporada, asociadas a la diversidad floral y a condiciones climáticas específicas. El pH se mantuvo estable entre estaciones. Los compuestos fenólicos totales aumentaron significativamente en la temporada de verano, mientras que los flavonoides permanecieron constantes, sugiriendo que su concentración es menos sensible a cambios estacionales. El análisis melisopalinológico reveló que la miel de primavera fue monofloral, proveniente de la floración del mezquite (*Prosopis juliflora*), mientras que la de verano mostró ser multifloral, reflejando mayor diversidad de fuentes nectaríferas. La correlación positiva entre color y compuestos fenólicos y flavonoides indica que las mieles más oscuras presentan mayor complejidad química y potencial antioxidante. Estos resultados mostraron que la miel de la Comarca Lagunera posee alta calidad fisicoquímica y nutracéutica, destacando su relevancia como producto agroalimentario funcional y su contribución a la salud.

Palabras clave: *Apis mellifera*, Nutracéuticos, Antioxidantes, Compuestos Fenólicos, Flavonoides.

ABSTRACT

Determination of the nutraceutical quality of honey in four municipalities of the Comarca Lagunera.

Arturo Pacheco Luna

Para obtener el grado el grado de Maestro en Ciencias en Producción

Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. José Luis Reyes Carrillo

This study aimed to characterize the physicochemical properties, composition, and nutraceutical potential of honey produced in four municipalities of the Comarca Lagunera region, in order to evaluate its quality and agri-food value. Variables such as moisture, °Brix, color, pH, total phenolic compounds, and flavonoids were analyzed during two harvesting seasons: spring and summer. The results indicated significant differences between the seasons in moisture, °Brix, and color, with higher moisture and a darker hue in the second season, associated with floral diversity and specific climatic conditions. The pH remained stable between seasons. Total phenolic compounds increased significantly in the summer season, while flavonoids remained constant, suggesting that their concentration is less sensitive to seasonal changes. Melissopalynological analysis revealed that spring honey was monofloral, originating from mesquite (*Prosopis juliflora*) blossoms, while summer honey was multifloral, reflecting a greater diversity of nectar sources. The positive correlation between color and phenolic and flavonoid compounds indicates that darker honeys exhibit greater chemical complexity and antioxidant potential. These results demonstrate that honey from the Comarca Lagunera region possesses high physicochemical and nutraceutical quality, highlighting its relevance as a functional agri-food product and its contribution to health.

Keywords: *Apis mellifera*, Nutraceuticals, Antioxidants, Phenolic compounds, Flavonoids

I. INTRODUCCIÓN

La apicultura representa una de las actividades agropecuarias más antiguas y relevantes en la historia de la humanidad (INEGI, 2024). Desde épocas remotas, las abejas no solo han sido aprovechadas por su capacidad de producir miel, sino también por su rol fundamental en el equilibrio ecológico mediante la polinización de plantas (INAES (2018)). En México, esta actividad se ha consolidado como una fuente importante de ingresos para miles de familias, destacando tanto por su valor económico como por su relevancia ambiental y cultural (Ramos-Cuellar, De la Mora, et al., 2023). El estado de Coahuila, y particularmente la región de la Comarca Lagunera, cuenta con condiciones naturales que favorecen la producción de una miel única, proveniente del néctar de especies características como el mezquite y el pinabete (INIFAP, 2023).

Sin embargo, esta producción enfrenta retos significativos derivados del cambio climático, el uso de agroquímicos y la pérdida de biodiversidad (Cueto, 2025). En los últimos años, el interés por la miel ha ido más allá de su uso como endulzante natural, enfocándose en su valor nutricional y terapéutico (Faienza et al., 2024; González-Pérez, Figueredo-Urbina, Luna-Rodríguez, Robles-Ortiz, & Medina-Pérez, 2024).

Diversos estudios científicos han demostrado que la miel contiene compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias y nutraceuticas, lo que la convierte en un alimento funcional de gran potencial para la salud humana (Jaśkiewicz, Szczęsna, & Jachuła, 2025).

Este trabajo tuvo como objetivo analizar las características fisicoquímicas, composición y propiedades nutraceuticas de la miel, así como su origen botánico procedente de cuatro municipios de la Comarca Lagunera con la finalidad de comprender de manera integral el valor de la miel como un recurso agroalimentario, y benéfico para la salud.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Introducción a la apicultura

La apicultura es una actividad agrícola que se define como el conjunto de prácticas relacionadas con la cría de abejas con el objetivo de producir miel, cera y otros productos apícolas, tanto para el consumo personal como para fines industriales; se trata de la técnica de mantener colmenas con fines comerciales, que incluyen la venta de productos o la prestación de servicios de polinización, el objetivo de este manejo es que la principal temporada de floración coincida con el período en el cual la mayoría de las abejas melíferas alcanza su etapa adulta, lo que permite maximizar la producción de los diversos productos y servicios que estas generan (Etxegarai-Legarreta & Sanchez-Famoso, 2022).

En México, la apicultura se practica en los 32 estados del país, teniendo las condiciones climáticas tan variadas y favorables en gran parte del territorio nacional, las colonias de *Apis mellifera* (L) proliferan y se mantienen activas todo el año, permitiendo que los apicultores tengan dos principales formas de producción, siendo la apicultura fija y la móvil, en donde la primera se refiere a que las colmenas permanecen en un solo sitio todo el año, mientras que en la segunda, los apiarios son trasladados de acuerdo la floración que le resulte de interés al productor (Baena-Díaz, Chévez, de la Merced, & Porter-Bolland, 2022).

2.1.1 Historia y evolución de la apicultura

La apicultura es una actividad del sector agropecuario orientada al manejo y cuidado de las abejas, con el objetivo de aprovechar los productos que generan y destinarlos a su comercialización (INAES, 2018; Wakgari & Yigezu, 2021).

Se conoce que la apicultura se practicó desde el siglo VII A.C. y desde entonces, ha marcado la historia de la humanidad, los vikingos al realizar sus extensos viajes en barcos, se abastecían de miel de abeja para consumirla durante su transcurso; los romanos utilizaban la miel para conservar pescado y frutas, de la misma manera, antes de las batallas la consumían por la creencia de que la misma, los fortalecería; los griegos realizaron una conserva con miel que se convirtió en una tradición para ellos; mientras que los egipcios fabricaban pan, cerveza y vino con miel; en los pueblos germánicos se utilizaba una bebida tradicional elaborada con miel (Laura, Florin, Cosmin, & Luminita, 2022)

A mediados del siglo XX la apicultura se destacó como una actividad económicamente relevante en México, tiempo desde el cual, la *A. mellifera* en sus distintas variedades se ha extendido en todo el continente, adaptándose a los distintos exosistemas, sin embargo, han sido africanizadas en las zonas cálidas del país; la africanización es un proceso genético mediante el cual se introducen genes de abejas melíferas de razas africanas en poblaciones de abejas de origen europeo, esto ocurre principalmente a través del cruce entre reinas europeas y zánganos africanos o por la sustitución de reinas europeas por reinas con ascendencia africana que invaden y toman el control de las colonias (Ramos-Cuellar, De la Mora, et al., 2023), estas variedades de *A. mellifera* han sido manejadas por los apicultores que las mueven y mantienen por ser una especie poliléctica (Baena-Díaz et al., 2022).

Se considera que a nivel nacional, se encuentran entre 3 y 3.5 colmenas por hectárea, sin embargo, México cuenta con regiones apícolas especializadas como la Península de Yucatán (Quintana Roo, Yucatán, Campeche), Veracruz y Jalisco que constituyen la principal producción de miel nacional, y que mantienen a México dentro de los diez países más importantes a nivel mundial en la producción de miel (Baena-Díaz et al., 2022).

De acuerdo información proporcionada por INEGI (2024) la apicultura en México posee una relevancia histórica, socioeconómica y ecológica significativa; desde épocas prehispánicas, diversas culturas mesoamericanas practicaron formas de crianza y aprovechamiento de las abejas nativas, arraigando una tradición agrícola al país, en tiempos actuales, esta actividad continúa siendo un pilar importante dentro de la economía social, al generar empleos, ingresos y divisas a través de la producción de miel, polen, jalea real y propóleo, se estima que aproximadamente 48 mil personas en el país dependen directamente de esta labor; sin embargo, su valor trasciende lo económico: las abejas cumplen una función ecológica esencial mediante la polinización, facilitando la reproducción de una amplia diversidad de plantas y cultivos, promoviendo la biodiversidad y la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios en México (INAES, 2018).

2.1.2 Importancia económica y ecológica de la apicultura

En México, la apicultura representa una actividad de gran importancia debido a su impacto positivo en el desarrollo sostenible; en este sentido, se impulsan diversas iniciativas orientadas a sensibilizar a la sociedad acerca del papel fundamental que desempeñan las abejas en la producción de alimentos y en el mantenimiento del equilibrio ecológico, así como a fomentar su protección y preservación (SADR, 2020).

La apicultura forma parte integral de las tradiciones y la identidad cultural de México; esta relevancia se manifiesta en su nivel de producción: según datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, en 2024 se produjeron aproximadamente 57,430 toneladas de miel en el país; entre los estados, Yucatán lideró la producción con 9,250 toneladas, seguido por Chiapas (5,941 t), Jalisco (5,848 t), Veracruz (5,233 t), Oaxaca (4,715 t) y Campeche (4,407 t); México logró posicionarse entre los diez principales productores de miel a nivel mundial, con una contribución del 3.8 % al total global, en cuanto al comercio exterior, en 2023 se exportó el 38.5 % de la miel producida, generando ingresos por más de 67 millones de dólares, ese mismo año, el producto fue enviado a 28 países, siendo Alemania y Estados Unidos los principales destinos, con compras de 7,783 y 7,063 toneladas, respectivamente (Redagricola, 2025).

En el estado de Coahuila, la apicultura tiene una relevancia particular en la Comarca Lagunera, donde las condiciones climáticas y la vegetación nativa favorecen la producción de miel de alta calidad, en esta región, las abejas de la especie *A. mellifera* obtienen el néctar principalmente del mezquite (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) y del pinabete (*Tamarix aphylla* (L.), Karst.), dos especies características del ecosistema local; la floración del mezquite, que ocurre entre marzo y abril, constituye la principal fuente de néctar para las colmenas y da origen a una miel de gran prestigio, tanto a nivel regional como fuera del estado, distinguiéndose por su color amarillo pálido a blanco, su textura cremosa con cristales finos y su sabor suave con notas amaderadas; mientras que la floración del pinabete ocurre entre junio y finales de agosto, permitiendo una segunda etapa de producción (INIFAP, 2023).

De acuerdo con datos oficiales, la producción de miel en Coahuila ha experimentado una reducción de 54 toneladas en un período de 14 años, al descender de 280 toneladas en 2010 a 226 toneladas en 2024; en Coahuila se registran 178 apicultores y un total de 14,510 colmenas; sin embargo, la apicultura en la región se ha visto afectada por un declive derivado de causas externas como el uso desmedido de agroquímicos y la falta de condiciones climáticas adecuadas; la región Laguna aportó el 61 % de la producción total, con un volumen de 137.8 toneladas, no obstante, el sector apícola enfrenta retos significativos debido al cambio climático, la sequía persistente y los efectos de la contaminación industrial (Cueto, 2025).

La miel que produce el estado de Coahuila, es un sustento importante en la economía de la región, generando aproximadamente 30 millones de pesos anuales, según se reportó en el 2024, siendo un sustento considerable para familias dedicadas a la apicultura (Cueto, 2025).

2.1.3 Principales especies de abejas productoras de miel

La abeja *Apis mellifera* Linnaeus 1758 (Hymenoptera: Apidae), es un insecto polinizador destacado por su interacción con plantas y flores, convirtiéndolo en el principal encargado de producción de miel a escala global (Dáttilo et al., 2022; Vargas-Valero, Luis Reyes-Carrillo, Gaspar-Ramírez, & Moreno-Reséndez, 2021).

Se estima que la *A. mellifera* visita en promedio 43 especies vegetales en una localidad, visitando una diversidad de familias botánicas que va entre 16 y 60 de acuerdo con el sitio; es por ello que es considerada uno de los insectos polinizadores más importantes a nivel global (Baena-Díaz et al., 2022; Nekoei et al., 2023).

En México, las principales especies empleadas en esta práctica son la abeja europea y la abeja originaria de la península de Yucatán (INAES, 2018).

Las especies de abejas nativas sin aguijón del sur de México son *Melipona beecheii* (Bennett, 1831), *M. solani* (Cockerell, 1912), *Scaptotrigona mexicana* (Guérin-Meneville, 1845) y *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) (López-

Roblero, Espinoza-Toledo, López-García, Grajales-Conesa, & Quiroz-García, 2021).

México es uno de los principales productores y exportadores de miel de abejas; la africanización es un fenómeno en el que los genes de abejas de razas africanas se introducen en las poblaciones de abejas de razas europeas, este proceso ocurre principalmente cuando las abejas reinas europeas se aparean con zánganos africanos, o cuando reinas de origen africano invaden colonias de abejas europeas; en México, la africanización comenzó aproximadamente en 1986, como resultado de la hibridación entre subespecies europeas, como *A. mellifera* y *A. ligustica*, que ya se encontraban en el país, y una subespecie africana de abeja melífera (*A. scutellata*), que fue introducida a Brasil en 1956 y luego se expandió hacia América del Norte, este cruce dio lugar a lo que hoy conocemos como abejas africanizadas (Ramos-Cuellar, Mora, et al., 2023).

2.2 Producción de miel

La producción de miel es un proceso enzimático en donde el néctar sufre una deshidratación; las abejas se encargan de ingerir polen y néctar, que son las fuentes primarias de nitrógeno y carbono respectivamente; después de atravesar un proceso intestinal, las enzimas transforman azúcares complejos a azúcares simples provenientes del néctar, como la fructuosa y glucosa. Las abejas obreras regurgitan el néctar y lo mezclan con enzimas de sus glándulas salivares, como la glucosa oxidasa. Esta enzima descompone la sacarosa en azúcares más simples (glucosa y fructosa) y produce ácido glucónico y peróxido de hidrógeno, lo que le otorga a la miel sus propiedades conservantes. Las enzimas son proporcionadas por las abejas, de forma paralela, la miel se va deshidratando por medio de regurgitación repetida y ventilación del panal hasta alcanzar el 20 % de humedad, en este momento es sellada con cera (Vîjan, Mazilu, Enache, Enache, & Topală, 2023).

La miel es una sustancia natural de sabor dulce y consistencia viscosa, es altamente energética presentando 304 kcal/100 g, es producida y almacenada por las abejas como fuente de alimento para la colonia; tiene usos distintos en la gastronomía, pero también desde un punto de vista nutricional, destacando por

su contenido de micro y macro nutrientes naturales, flavonoides, ácidos fenólicos, polifenoles, vitaminas y minerales (Faienza et al., 2024; FAO, 2020; González-Pérez, Figueredo-Urbina, Luna-Rodríguez, Robles-Ortiz, et al., 2024).

Se reconocen más de 320 tipos de miel, la cual varía de acuerdo a las plantas visitadas por las abejas y las condiciones ambientales del entorno (Vijjan et al., 2023).

El trabajo del apicultor varía a lo largo del año, concentrándose principalmente entre la primavera y el verano, cuando se realizan tareas como la supervisión del crecimiento de las colonias y la recolección de miel, en contraste, durante la temporada invernal, las actividades se orientan a la preparación del material apícola principalmente estructuras de madera que servirán para albergar nuevas colmenas, así como a la vigilancia de posibles plagas o enfermedades, con el propósito de aplicar medidas preventivas de manera oportuna (INAES, 2018).

Las abejas desempeñan un papel crucial en el equilibrio ecológico, ya que al recolectar néctar y polen de las flores, facilitan la polinización cruzada, un proceso esencial para la reproducción de muchas especies vegetales; las labores del apicultor se concentran principalmente entre la primavera y el verano, periodos en los que se llevan a cabo actividades como la inspección del estado de las colmenas, el control poblacional y la recolección de miel, mientras que en invierno, considerado una etapa de receso productivo, las tareas se orientan a la preparación de materiales, es decir, estructuras de madera para nuevas colonias y a la vigilancia sanitaria de las abejas, con el fin de detectar oportunamente enfermedades o infestaciones que puedan comprometer la salud del apiario en la siguiente temporada (FIRCO, 2016; Mara et al., 2025; Ulloa, Mondragon-Cortez, Rodriguez-Rodriguez, Resendiz-Vazquez, & Rosas-Ulloa, 2010).

La miel mexicana se encuentra regulada por la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018 en donde se establece una caracterización a nivel regional (Baena-Díaz et al., 2022).

2.2.1 Ciclo de producción de miel

Cuadro 1. Etapas de la producción de la miel (Díaz & López, 2016)

Etapa	Subprocesos principales	Descripción técnica
Precosecha	- Selección del sitio del apiario - Manejo de colmenas - Control sanitario - Evaluación de floración	Comprende la preparación del sistema productivo. Se establece el apiario en zonas con alta densidad de flora melífera y disponibilidad hídrica. Se manejan colonias fuertes y sanas mediante control sanitario preventivo. Se monitorea la floración para anticipar el flujo de néctar. Recolección de miel madura
Cosecha	- Revisión de panales - Desoperculado - Extracción - Filtrado - Sedimentación	(celdas operculadas), el retiro de la cera superficial (desoperculado) y la extracción centrífuga. La miel es filtrada para eliminar impurezas y sedimentada para separar partículas suspendidas. Operaciones posteriores a la cosecha que aseguran la inocuidad, estabilidad
Poscosecha	- Homogeneización - Envasado - Etiquetado - Almacenamiento - Control de calidad	físicoquímica y presentación del producto. Se normaliza el contenido, se envasa bajo condiciones sanitarias, y se realiza control de parámetros como humedad, HMF, acidez y actividad diastásica.

2.2.2 Factores que influyen en la calidad de la miel (flora, clima, manejo)

La miel es una sustancia biológica altamente compleja cuya composición química puede cambiar según diversos factores, como el tipo de suelo, el clima, la ubicación geográfica, la planta de origen, la raza de las abejas y el estado fisiológico de la colonia; en general, está compuesta principalmente por azúcares (alrededor del 80 %, especialmente glucosa y fructosa), además de aproximadamente un 17 % de agua y un 3 % de otros elementos como enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, vitaminas, minerales, pigmentos, compuestos fenólicos, sustancias volátiles y pequeñas partículas provenientes de la recolección del néctar (González-Pérez, Figueredo-Urbina, Luna-Rodríguez, Robles-Ortiz, et al., 2024). Debido a su composición basada en azúcares, la miel tiene una textura viscosa y un aporte energético importante (Aga et al., 2023b).

La miel puede clasificarse de acuerdo a su origen botánico, clasificándose en miel floral, no floral, de melaza o mixta (Aga et al., 2023b).

Se puede clasificar el contenido polínico de acuerdo con el número de granos de polen contenidos en la miel:

Polen predominante» (más del 45 % de los granos de polen contados);

Polen secundario» (16-45 %);

«Polen minoritario importante» (3-15 %);

«Polen minoritario» (menos del 3 %).

Fuente: (Louveaux, Maurizio, & Vorwohl, 1978)

En la Comarca Lagunera, las abejas *A. mellifera* obtienen néctar principalmente de dos especies arbóreas: el mezquite (*P. juliflora*) y el pinabete (*T. aphylla*); la floración del mezquite ocurre entre los meses de marzo y abril, aunque las fechas pueden variar ligeramente según el municipio, por su parte, el pinabete florece desde junio hasta finales de agosto; la miel elaborada a partir del néctar de mezquite es altamente valorada tanto a nivel local como externo, siendo esta la fuente floral predominante en la región, todo esto dependerá de las condiciones climáticas y externas que puedan presentarse (INIFAP, 2023).

Una característica física que es relevante en la miel para los consumidores es el color, pudiendo variar desde incoloro hasta tonalidades como amarillo claro, ámbar oscuro, verde, rojizo o negro; dicha variación se encuentra determinada por factores tales como las condiciones climáticas, fuente vegetal del néctar, características del suelo, contenido de aminoácidos, xantofilas, azúcares, carotenoides, flavonoides y minerales.

Las propiedades fisicoquímicas de la miel también pueden verse afectadas por diversos factores, tales como: la altitud, las condiciones climáticas, el tipo de polen, la época de cosecha, el néctar disponible, las secreciones producidas por las abejas, el periodo de floración, así como la composición química del producto, la especie de abeja involucrada, las condiciones de almacenamiento, el tiempo de maduración, las características biofísicas del entorno, la edad de los panales,

el tipo de ecosistema -ya sea agrícola o natural-, el proceso de extracción, la temperatura ambiente, la edad de las abejas, la fuente alimenticia de las abejas melíferas, y la alta biodiversidad presente en la región (Aga et al., 2023b; Barrera & Llanos, 2023).

2.3 Composición química de la miel de abeja

La miel de abeja es una sustancia compleja natural producida por diversas especies del género *Apis*, siendo la más común la *A. mellifera*; esta especie forma parte de uno de los insectos polinizadores con mayor relevancia en el mundo al tener una participación activa en el mantenimiento y producción de frutas, hortalizas y cultivos diversos importantes para la producción de alimentos (Abdi, Ben Said, Crotti, Masmoudi, & Cherif, 2023; Abedelmaksoud et al., 2024; Campo-Barrera & Hincapié-Llanos, 2023), en muchas regiones rurales del mundo, la recolección de miel se realiza de forma artesanal, aunque en los apiarios modernos la producción de miel se lleva a cabo mediante métodos tecnificados (Barrera & Llanos, 2023), esta será producida a partir del néctar de las flores y la composición del néctar, varía considerablemente según su origen floral; aunque los azúcares son sus principales componentes, también contiene almidón, minerales y ácidos como el oxálico, málico y tartárico; el néctar presenta un bajo contenido de nitrógeno y vitaminas, y su pH tiende a ser ligeramente alcalino (García-Chaviano et al., 2022; Yavarik Alvarado-Avila, Beatriz Moguel-Ordóñez, García-Figueroa, Javier Ramírez-Ramírez, & Enrique Arechavaleta-Velasco, 2022).

Se calcula que la miel puede originarse a partir del néctar de más de 2,500 especies florales, por lo que sus propiedades fisicoquímicas serán variables; es por ello que la composición de la miel estará influenciada por múltiples factores, entre los cuales se encuentran: la naturaleza del néctar, altitud, ubicación geográfica de la fuente floral, tipo de bioma, temporada de cosecha, recolección, clima, estación del año, almacenamiento, condiciones del sitio de origen, polen, manejo y de la especie y edad de abeja involucrada en la producción (Barrera & Llanos, 2023; Campo-Barrera & Hincapié-Llanos, 2023).

2.3.1 Azúcares presentes en la miel

La concentración de azúcares presentes en la miel, además de aportar características como viscosidad, capacidad de absorber humedad, nivel de dulzura, cristalización y aporte energético, también contribuye a sus propiedades antimicrobianas (Aga et al., 2023b).

El porcentaje de azúcares en la miel es representado por el valor de °Brix que se obtiene a través del refractómetro, este parámetro tiene que ver con el contenido de humedad, ya que el agua es el segundo componente más presente en la miel y se expresa como un porcentaje de humedad de la miel (Martínez, Osorio, Muñiz, Ávila, & Valverde, 2022).

Los azúcares principales que se encuentran en la miel son glucosa y la fructuosa en una mayor porción, mientras que en una menor porción contiene la sacarosa, turanosa, melezitosa, rafinosa, gentiobiosa, isomaltosa, trehalosa, panosa, lactosa, maltosa, erlosa, kojibiosa, entre otras (Aga et al., 2023b).

La miel posee más de 22 azúcares, el contenido de azúcares presente en la miel está determinado por la especie de abeja que se trate, origen geográfico, clima, procesamiento, almacenamiento y el origen botánico de mieles monoflorales (Barrera & Llanos, 2023; Nyarko, Mensah, & Greenlief, 2024).

Cuadro 2. Azúcares presentes en la miel (Nyarko et al., 2024).

Azúcar	Valor aproximado (%)
Fructosa	38
Glucosa	31
Maltosa	7–8
Sacarosa	4.5
Azúcares menores (oligosacáridos) como: ramnosa, nigerobiosa, trehalosa, isomaltosa, maltotetraosa, maltotriosa, maltulosa, melezitosa, melibiosa, nigerosa, palatinosa, rafinosa, erlosa y otros.	<1

2.3.2 Vitaminas, minerales y enzimas

El contenido mineral que se encuentra en la miel está determinado por varios factores, tales como: su origen geográfico, origen botánico, origen del alimento

de las abejas, néctar, clima, las condiciones de almacenamiento, condiciones biofísicas de la región, procesamiento que se le da a la miel y la fuente floral (Barrera & Llanos, 2023).

El contenido de minerales presentes en la miel es variable dependiendo de su tipo, encontrándose el 0.02 % en mieles claras y el 0.04 % en las mieles oscuras, de acuerdo a su origen botánico (Aga et al., 2023b).

Principalmente, la miel contiene minerales esenciales como potasio, magnesio, calcio, manganeso, fosforo, cobre, hierro, plata, bario, cadmio, litio, selenio, zinc, cromo, sodio y cobalto.

La miel posee enzimas, como la amilasa (encargada de descomponer el almidón y el glucógeno), la invertasa y la glucosa oxidasa (Aga et al., 2023b).

El contenido de vitaminas presente en la miel está determinado por su origen botánico (Barrera & Llanos, 2023).

También contiene aminoácidos como histidina, treonina, ácido glutámico, glutamina, β -alanina, ácido aspártico, prolina, α -alanina, arginina, isoleucina, valina, tirosina, metionina, ácido γ -aminobutírico, triptófano, leucina, ornitina, lisina, fenilalanina y cisteína (Aga et al., 2023b).

Cuadro 3. Vitaminas, minerales y enzimas presentes en la miel

(Aga et al., 2023a; Samarghandian, Farkhondeh, & Samini, 2017).

Minerales	Vitaminas	Enzimas
Fósforo	Vitamina C	Invertasa
Sodio	Vitamina B	Diastasa
Calcio		Amilasa
Potasio		Glucosa
Zinc		oxidasa
Azufre		Catalasa
Hierro		Fosfatasa ácida
Cromo		
Manganeso		
Selenio		

2.3.3 Compuestos fenólicos y antioxidantes

La miel contiene compuestos fitoquímicos variados que le otorgan propiedades terapéuticas y nutricionales conocidos como compuestos fenólicos, en los que se

identifican dos grupos principales, los componentes fenólicos simples (porque poseen una única unidad fenólica), y los polifenoles (que presentan múltiples anillos aromáticos en su estructura), entre estos últimos, se encuentran los flavonoides, estos compuestos provienen del polen, néctar y propóleo (González-Pérez, Figueredo-Urbina, Luna-Rodríguez, Robles-Ortiz, et al., 2024).

Se ha determinado que los polifenoles presentes en la miel se originan principalmente del néctar floral, es decir, que se encuentran influenciados por factores como el origen botánico de la miel, la región geográfica, condiciones climáticas locales y la especie de abeja productora (González-Pérez, Figueredo-Urbina, Luna-Rodríguez, Robles-Ortiz, et al., 2024). Los polifenoles, como el ácido vainílico, ácido cafeico, ácido siringico, crisina, kaempferol y la quercetina; así como los tocoferoles, vitamina C, superóxido dismutasa (Aga et al., 2023b), tienen propiedades funcionales como capacidad antioxidante, actividad antiséptica y efectos antiinflamatorios (González-Pérez, Figueredo-Urbina, Luna-Rodríguez, Robles-Ortiz, et al., 2024). La procedencia floral de la miel es el factor que más determina su composición fenólica; de hecho, puede emplearse como instrumento para clasificar y autenticar, sobre todo en lo que se refiere a variedades uniflorales (Cianciosi et al., 2018). Los compuestos fenólicos son benéficos para la salud debido a su capacidad para eliminar radicales libres, así como la regularización de enzimas que permiten mantener un equilibrio óxido-reductor (Jaśkiewicz et al., 2025).

2.4 Propiedades nutraceuticas de la miel

El consumo de miel se encuentra indicado debido a sus propiedades nutraceuticas, actividades de crecimiento y metabólicas resultando beneficiosa para la salud, ya que además de contener minerales y vitaminas, un bajo contenido en grasa y la presencia de 0.3 – 25 mg/kg de colina y el 0.06 – 5 mg/kg de acetilcolina, compuestos importantes de la membrana celular que promueven la función cerebral y cardiovascular, también posee propiedades antimicrobianas, antioxidantes y antiinflamatorias (Aga et al., 2023b; Barrera & Llanos, 2023; Morariu et al., 2024).

El aprovechamiento de la miel como producto nutracéutico se basa en la presencia de compuestos bioactivos como ácidos fenólicos, flavonoides, ácido ascórbico, proteínas, carotenoides y enzimas específicas, entre las que destacan la glucosa oxidasa y la catalasa; desde el punto de vista nutricional, la miel es un alimento con alta densidad energética, rico en minerales esenciales como calcio y zinc, lo que la convierte en una fuente adecuada para apoyar el rendimiento físico, aproximadamente el 70 % de sus azúcares están constituidos por fructosa y glucosa, ambos monosacáridos de rápida absorción intestinal, capaces de suministrar energía de forma casi inmediata; por lo anterior y por su aporte en macro y micronutrientes, la miel es especialmente beneficiosa para individuos en estados de anemia o convalecencia; además, debido a su alto contenido de fructosa, se le atribuyen efectos vasodilatadores, diuréticos y laxantes (García-Chaviano et al., 2022; Kafantaris, Amoutzias, & Mossialos, 2021).

Cuadro 4. Propiedades nutraceúticas de la miel (Aga et al., 2023b; Wang et al., 2023).

Propiedad	Descripción	Beneficios demostrados	Componentes relacionados
Antimicrobiana	Inhibe el crecimiento bacteriano, acelera la cicatrización de heridas	- Reducción del dolor, formación de costras y tiempo de curación en lesiones	Peróxido de hidrógeno, flavonoides, bajo pH, compuestos fenólicos
Antioxidante	Neutraliza radicales libres generados en procesos metabólicos	- Previene el envejecimiento celular - Reduce el riesgo de enfermedades crónicas	Polifenoles, flavonoides, vitamina C, carotenoides
Antiinflamatoria	Reduce mediadores inflamatorios y regula enzimas asociadas a la inflamación	- Disminuye el edema y malestar - Inhibe la producción de prostaglandina E2 (PGE2) y el óxido nítrico (NO) Regula COX-2 (ciclooxigenasa-2), tirosina quinasa	Compuestos fenólicos, enzimas naturales

Inmunomoduladora	Estimula el sistema inmunológico y mejora la respuesta inmune	- Aumenta la producción de linfocitos, anticuerpos y células NK - Contribuye a combatir anemia - Regula la activación celular inmunitaria	Apigenina, luteolina, antioxidantes hidrosolubles, flavonoides
Antidiabética	Regula el nivel de glucosa en sangre por a su bajo índice glucémico.	- Mejora el control glucémico- Disminuye la fructosamina- Combate la resistencia a la insulina	Oligosacáridos, minerales (Zn, Mg, Cr), bajo índice glucémico
Anticancerígena	Induce apoptosis en células tumorales y modula proteínas clave en el ciclo celular.	- Promueve la muerte celular en células cancerígenas- Regula proteínas proapoptóticas y antiapoptóticas (ej. Bax, caspasas, Bcl-2)	Polifenoles, flavonoides, compuestos apoptóticos naturales
Cardioprotectora	Mejora el perfil lipídico y protege contra el daño oxidativo relacionado con enfermedades cardiovasculares.	- Disminuye LDL- Mejora el flujo arterial- Reduce biomarcadores como ALT, AST y CK-MB- Potencia enzimas antioxidantes (SOD, GPx, GRx)	Antioxidantes, flavonoides, enzimas protectoras, compuestos fenólicos

2.4.1 Definición y concepto de alimento nutraceutico

El término “nutracéutico” tiene su origen en 1989 cuando el presidente de Fundación para la Innovación en Medicina, el doctor Stephen De Felice, acuñó dicho nombre al asociar los términos “farmacéutico” y “vitaminas”; es utilizado como término publicitario para definir un suplemento nutricional que tiene la capacidad de prevenir o tratar enfermedades, es el término indicado para referirse a una sustancia, componente o alimento que se haya demostrado que tenga beneficios para la salud o clínicos, como tratamiento y prevención de enfermedades (Naveen, Himani, Zulphakar, & Kishor, 2024).

Otra definición aceptada por la FAO para describir a los nutraceuticos, es la de alimentos que además de proporcionar nutrientes esenciales, contienen

compuestos bioactivos que están presentes en alimentos o derivados de ellos y que aportan beneficios para la salud humana, ya sea como prevención o tratamiento de distintas enfermedades, efectos positivos en funciones metabólicas o biológicas y propiedades que superan las necesidades nutricionales básicas (Faenza et al., 2024).

En la era actual, los consumidores exigen alimentos que sean más saludables, acuñando tres conceptos para referirse a los mismos; el primer término “alimento funcional” se define como un alimento ya sea procesado o no, el cual es consumido como parte de la dieta diaria, y que aporta nutrimentos funcionales útiles para actividades fisiológicas y metabólicas; el segundo término, que se definió previamente, los “nutraceuticos” que aportan además propiedades de carácter medicinal; el tercer término “superalimento” es empleado en alimentos como hortalizas y frutas, que contienen naturalmente una gama de antioxidantes, fitoquímicos y nutrientes (Vázquez-González, Mejía-Garibay, Robles-López, & Ramírez-López, 2020).

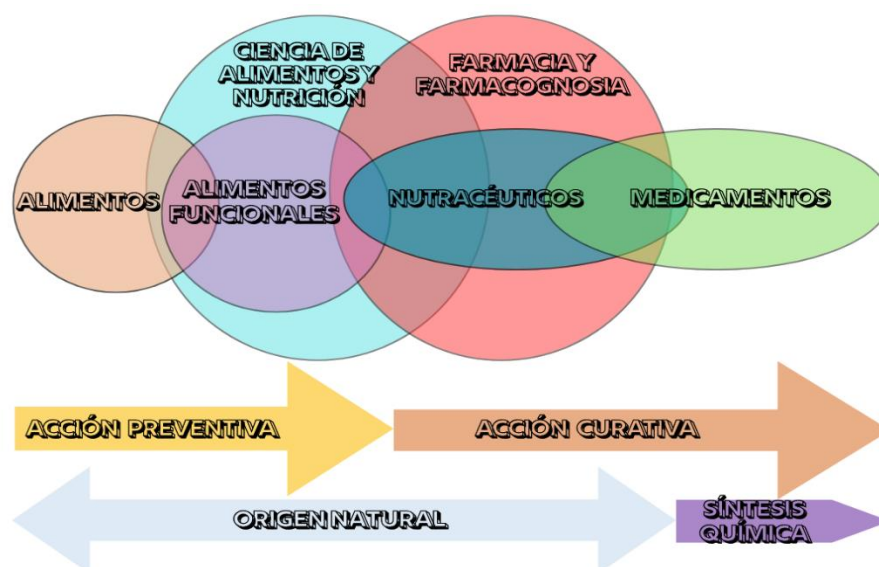


Figura 1. Relación de conceptos: alimentos nutraceuticos y funcionales (Vázquez-González et al., 2020)

2.4.2 Propiedades funcionales de la miel (antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria)

El uso de la miel para tratar quemaduras y una extensa variedad de enfermedades debido a sus propiedades antimicrobianas, se debe a diversos factores, uno de ellos es por el mecanismo de acción de la misma, ya que su alto contenido en azúcar, permite una osmolaridad elevada, lo que lleva a una deshidratación altamente significativa de las bacterias; otro factor es el pH de la miel (3 – 4), un aspecto importante ya que las bacterias no logran multiplicarse de manera abundante en dicho parámetro; la miel también estimula la cicatrización al promover la angiogénesis, la epitelización y la granulación (Bouacha, Besnaci, Tigha-Bouaziz, & Boudiar, 2024; García-Chaviano et al., 2022).

El efecto antioxidante inducido por la miel se debe a los efectos sinérgicos de sus componentes activos, principalmente los flavonoides y contenido fenólico, la actividad antioxidante de la miel de abeja esta influenciada por la diversidad vegetal de la región en la que se produce y su ubicación geográfica (Bouacha et al., 2024; Bozkuş, 2025). Los principales responsables de la actividad antioxidante de la miel son los compuestos enzimáticos, carotenoides, ácido ascórbico y fitoquímicos de origen vegetal, que tienen la capacidad para neutralizar especies reactivas de oxígeno y prevenir los procesos degenerativos asociados al estrés oxidativo y daño celular (García-Chaviano et al., 2022). Se ha observado que las mieles más oscuras, al tener una mayor concentración de estos compuestos bioactivos, presentan una actividad antioxidante superior, lo que refuerza su potencial como nutraceutico en la prevención del daño oxidativo (Haque, Khaliduzzaman, Asaduzzaman, Pattadar, & Hasan, 2023).

2.4.3 Mecanismos de acción de los compuestos bioactivos

Cuadro 5. Propiedades biológicas y mecanismos de acción de los compuestos bioactivos (González-Pérez, Figueredo-Urbina, Luna-Rodríguez, Robles-Ortiz, et al., 2024)

Propiedad biológica	Mecanismo de acción	Compuestos involucrados
Antioxidante	Captura de radicales libres (ROS) y reducción del estrés oxidativo	Polifenoles, flavonoides, ácido ascórbico, enzimas
Antibacteriana	Alta osmolaridad, pH ácido, producción de peróxido de hidrógeno	Azúcares (glucosa/fructosa), glucosa oxidasa, H ₂ O ₂
Antifúngica	Desnaturalización de proteínas y alteración de membranas por efecto osmótico y pH	Azúcares, H ₂ O ₂ , compuestos fenólicos
Antiinflamatoria	Inhibición de mediadores proinflamatorios (NO, PGE2) y regulación de citoquinas	Flavonoides (quercetina, luteolina), ácido siríngico
Antidiabética	Inhibición de las enzimas digestivas α -amilasa y α -glucosidasa	Flavonoides, compuestos fenólicos, oligosacáridos
Antitumoral / Anticancerígena	Inducción de apoptosis, regulación de proteínas pro y antiapoptóticas	Quercetina, kaempferol, pinocembrina, ácido p-cumárico
Gastroprotectora	Reducción de daño gástrico, modulación del ambiente ácido y actividad antioxidante	Flavonoides, H ₂ O ₂ , compuestos antiinflamatorios
Hepatoprotectora	Disminución del estrés oxidativo hepático, preservación de enzimas hepáticas	Polifenoles, enzimas antioxidantes

2.5 Factores que influyen en la calidad nutracéutica de la miel

Las propiedades fisicoquímicas de la miel se encuentran determinadas por diversos factores relacionados entre sí, en los cuales se incluyen variables ambientales, tales como clima, altitud, condiciones biofísicas de la región y temporada de floración; de la misma manera, factores relacionados con la diversidad, flora, composición del polen, momento de cosecha y calidad del néctar disponible.

La mega biodiversidad presente en la región constituye uno de los factores importantes relacionados con la composición química final de la miel, ya que la variedad de fuentes florales es un factor clave. Desde un punto de vista biológico,

los factores que influyen en la calidad de la miel se encuentran la especie de abeja, secreciones enzimáticas empleadas durante la elaboración de la miel, edad de los individuos y el tipo de alimento consumido por las abejas. Otras condiciones relacionadas con la calidad de la miel incluyen el procesamiento y manejo de la misma, como el estado de los panales, el tiempo de maduración de la miel, las prácticas de almacenamiento, el ecosistema circundante (natural o agrícola) y la temperatura. El origen botánico de la miel ejerce influencia en ciertos parámetros fisicoquímicos como la humedad, acidez, conductividad eléctrica, pH y azúcares (Barrera & Llanos, 2023).

2.5.1 Prácticas apícolas y técnicas de procesamiento

Cuadro 6. Prácticas apícolas (Babarinde, Babarinde, Adegbola, & Ajayeoba, 2011).

Categoría	Práctica o Técnica	Descripción y Beneficios
Prácticas apícolas	Manejo de colmenas móviles	Permiten cosechar miel en floraciones específicas, favorecen producción monofloral
	Métodos de cosecha modernos	Uso de humo para minimizar agresividad y preservar calidad de la miel (más antioxidantes, menor HMF o acidez)
Métodos tradicionales	Prensado del panal	Se exprime manualmente el panal; sencillo, económico, preserva polen y componentes beneficiosos
	Centrifugación	Extracción de miel mediante fuerza centrífuga; eficiente y común en medianas a grandes producciones
Técnicas modernas	Ultrasonidos, microondas e infrarrojo	Procesos emergentes que preservan compuestos bioactivos con menor tiempo y energía

Los procesos posteriores incluyen la desoperculación, mediante cuchillos calientes o herramientas especializadas, que facilitan la apertura de las celdas, conservando la calidad de la miel, posteriormente continúan las etapas de filtrado

y decantación mediante un tamizado fino y decantación de forma natural, lo cual ayuda a retirar impurezas, después sigue la deshidratación y cristalización controlada mediante calentamiento $< 40^{\circ}\text{C}$ o agitación lo que reduce la humedad sin dañar las enzimas, también se controla la cristalización pero sin afectar sus propiedades funcionales, por último sería la etapa de pasteurización o tratamiento térmico “*Flash-heat*” de $70 - 80^{\circ}\text{C}$ durante pocos segundos, esto para reducir microorganismos sin alterar la actividad enzimática del producto (Kieliszek et al., 2023; Luo, Dong, Gu, Zhang, & Ma, 2021).

Finalmente, el almacenamiento debe realizarse en condiciones higiénicas, preferentemente a temperaturas entre 5 y 10°C , utilizando recipientes de acero inoxidable o vidrio alimentario ya que esto evita la fermentación, oxidación o cristalización prematura del producto, todas estas prácticas influyen en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de la miel y son vitales para asegurar su autenticidad (Kebede, Fesseha, Jibril, & Daheha, 2024).

2.5.2 Época de cosecha y condiciones de almacenamiento

El tiempo de cosecha de miel tiene efectos en sus propiedades fisicoquímicas, la actividad antimicrobiana y la actividad antioxidante, se ha demostrado que se encuentra una actividad antimicrobiana y antioxidante buena cuando se tiene un tiempo de cosecha más largo ($30 - 45$ días), en comparación a realizar una cosecha a los 15 días (Wu, Wu, Klaithin, Tiong, & Peng, 2022).

En México, la cosecha principal de miel de abeja se lleva a cabo durante la estación seca, la cual abarca de acuerdo a la región de febrero a mayo o junio; dicho periodo se caracteriza por la floración de especies nectaríferas, lo que favorece una producción eficiente de miel sin comprometer la estabilidad de las colonias, la llegada de la temporada de lluvias reduce la viabilidad de la cosecha, ya que la miel tiende a presentar un mayor contenido de humedad, afectando su calidad fisicoquímica y su valor comercial, por ello la temporada seca constituye el intervalo óptimo para la recolección, en estados como Jalisco también se identifica una cosecha significativa durante los meses de otoño e invierno (octubre y noviembre), complementada por una producción secundaria en primavera (de marzo a mayo), cuando las extracciones se realizan en épocas

húmedas tienden a generar un producto de menor calidad, susceptible a fermentación y con menor aceptación en el mercado (Fernández, Franceschi, Fernández, Bahena, & Reyes, 2018; Perez et al., 2016).

2.6 Métodos de análisis de calidad nutracéutica

2.6.1 Parámetros

La calidad de la miel depende de parámetros fisicoquímicos, los cuales están constituidos por la conductividad eléctrica, contenido de humedad, acidez libre, nivel de hidroximetilfurfural aldehído (HMF), concentración de carbohidratos, rotación óptica, color y el pH. Los parámetros fisicoquímicos de la miel, se encuentran determinados por diversos factores, entre los cuales destacan: el clima, origen botánico, maduración, procesamiento, fuente floral, néctar, condiciones biofísicas (es decir, el suelo), origen geográfico y la especie de abeja (Barrera & Llanos, 2023).

La acidez libre es un factor que se relaciona con la degradación de la miel, esto ocurre debido a la existencia de ácidos orgánicos que están en equilibrio con lactonas, ésteres y ciertos iones inorgánicos; con el tiempo y mediante el proceso de fermentación, la acidez libre tiende a incrementarse, ya que los azúcares y alcoholes en la miel son convertidos en ácidos por las levaduras presentes, la identificación de lactonas es crucial porque su hidrólisis incrementa la acidez libre, por lo cual, la acidez total se calcula sumando la acidez libre y la lactona (Navarro-Martínez et al., 2021). La acidez libre podría emplearse como indicador del deterioro de la miel, una alta acidez en la miel, puede deberse a la fermentación de azúcares en ácidos orgánicos, el contenido de acidez de la lactona, es considerada una reserva de acidez cuando la miel se alcaliniza, ya que su degradación provoca un incremento en los ácidos libres (Rivera-Mondragón et al., 2023).

2.6.2 Métodos fisicoquímicos (pH, humedad, acidez, conductividad eléctrica)

Cuadro 7. Propiedades fisicoquímicas de la miel (García-Chaviano et al., 2022).

Propiedad fisicoquímica	Descripción	Equipos empleados para su análisis
Humedad	Indica el contenido de agua en la miel; fundamental para evaluar su madurez y estabilidad durante el almacenamiento.	Refractómetro portátil Refractómetro digital
pH	Mide la acidez de la miel; generalmente es ácido, lo que contribuye a su capacidad antimicrobiana y estabilidad.	Medidor Thermo Scientific Orión Star 4-pH potenciómetro de varilla de vidrio “Hanna” pH-metro “Crison”
Acidez libre	Expresa la cantidad de ácidos orgánicos presentes. Un valor alto puede estar relacionado con fermentación o envejecimiento.	potenciómetro y buretas Medidor de pH (SevenMulti™ S47, Mettler Toledo, Suiza)
Conductividad eléctrica	Se asocia al contenido de minerales y compuestos ácidos. Se utiliza como parámetro para diferenciar entre miel floral y mielato, y puede reemplazar al contenido de cenizas.	Medidor de conductividad HI98311 Conduc tímetro Crison 522 Medidor de conductividad (SevenMulti™ S47, Mettler Toledo, Suiza) Espectrómetro de transformada de Fourier infrarroja (FTIR)
Color	Varía según el origen botánico y se relaciona con	Fotocolorímetro Hansa

	la presencia de pigmentos, polifenoles y minerales. Mieles oscuras suelen tener mayor actividad antioxidante.	
Azúcares totales y reductores	Incluye monosacáridos como glucosa y fructosa, y disacáridos como maltosa y sacarosa. Estos azúcares son clave para determinar la calidad energética y autenticidad de la miel.	Refractómetro en grados Brix Refractómetro con lector directo
Sólidos insolubles	Se refiere a partículas no disueltas (como cera o restos vegetales); su concentración es un indicador del nivel de higiene durante la cosecha y procesamiento.	Refractómetro en grados Brix

2.6.3 Métodos bioquímicos

La caracterización bioquímica de la miel se fundamenta en la medición de compuestos bioactivos clave, entre los que destacan los fenoles totales, los flavonoides y la capacidad antioxidante. Para cuantificar el contenido total de fenoles (TPC), se emplea comúnmente el método colorimétrico de Folin–Ciocalteu, que permite estimar la capacidad reductora de estos compuestos en la muestra (Lawag, Lim, Joshi, Hammer, & Locher, 2022).

La determinación del contenido total de flavonoides (TFC) suele realizarse mediante la reacción con cloruro de aluminio, que forma complejos coloreados

cuantificables espectrofotométricamente, y, en cuanto a la evaluación de la actividad antioxidante, se utilizan ensayos complementarios, entre los cuales destacan el método DPPH, que mide la capacidad de captura de radicales libres; el ensayo ABTS, que evalúa la neutralización del radical catión ABTS; y el método FRAP, que cuantifica el poder reductor basado en la conversión de hierro férrico a ferroso (Martinello & Mutinelli, 2021).

La combinación de estas técnicas proporciona una visión integral del potencial antioxidante y del perfil bioquímico de la miel, factores determinantes para su calidad y valor funcional (Lawag et al., 2022).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo corresponde a un estudio de tipo descriptivo, orientado a la caracterización de la calidad nutracéutica de la miel de abeja producida en diferentes municipios de la Comarca Lagunera, durante dos periodos de floración en el año 2024.

La investigación se llevó a cabo en cuatro municipios de la Comarca Lagunera, Torreón (24°47'35.16" N a 25°41'29.04" N de latitud y 102°57'25.20" W a 103°30'39.60" de longitud) y Fco. I. Madero (-103.2730° O de longitud y 25.7753° N) por parte del estado de Coahuila, en el estado de Durango fueron Gómez Palacio (103° 41' 24.00" W 103° 19' 08.40" W, de longitud y 25° 32' 08.16" N 25° 53' 16.80" N de latitud) y Lerdo (103° 58' 44.40" W 103° 20' 13.20" W, de longitud y 25° 10' 27.12" N 25°46' 05.16" N de latitud) (INEGI, 2025).

La Comarca Lagunera se distingue por la escasez de recursos hídricos y un clima predominantemente árido, con veranos extremadamente calurosos que pueden alcanzar hasta 45.3 °C, e inviernos fríos, donde las temperaturas oscilan entre 8 °C y 0 °C, e incluso pueden descender hasta los -7 °C. Esta región corresponde a un clima seco y cálido, con una temperatura media anual superior a los 18 °C - con un promedio de 22.7 °C- y presenta dos periodos de sequía: uno prolongado en invierno y otro más breve durante el verano. Además, existe una marcada variación térmica entre estaciones; De acuerdo con los datos históricos del Observatorio Meteorológico de Torreón, la temporada de mayor precipitación abarca de junio a septiembre, con promedios mensuales de 30 mm en junio, 42.8 mm en julio, 40.9 mm en agosto y 51.6 mm en septiembre (SADER, 2023).

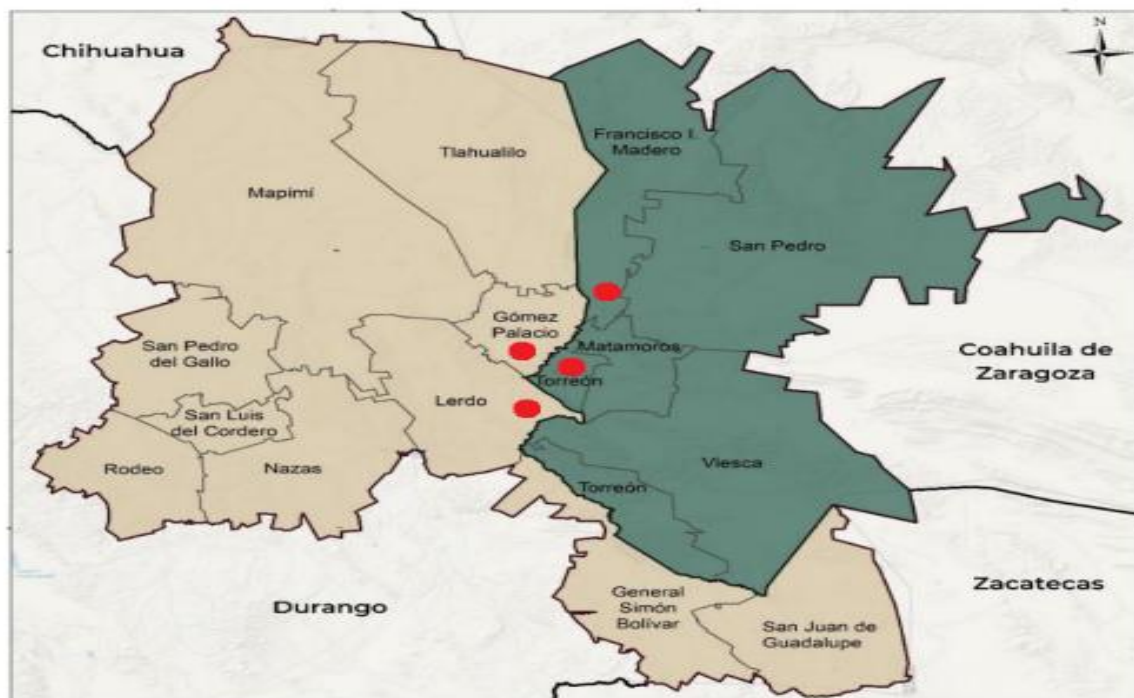


Figura 2. Municipios de colecta en la Comarca Lagunera (INEGI, 2025)

Muestreo

El muestreo se llevó a cabo en primavera (abril del 2024) y verano (julio del 2024). Se muestrearon un total de 16 apiarios repartidos en los cuatro municipios, obteniendo un total de 41 muestras seleccionadas al azar, 24 muestras en el mes de abril y 17 muestras en el mes de julio. Los municipios y las localidades muestreadas del estado de Coahuila fueron Torreón, -Tierra Blanca-, Fco. I. Madero, -El Chaparro, Lequeitio, Mercedes y Corralitos-, y del estado de Durango fueron los municipios de Gómez Palacio, -El Cairo, San Ramón, Transporte-, y de Lerdo, -Zapopan, Nazareno 1, y Nazareno 2.

Las muestras fueron tomadas directamente del alza de la colmena, obteniendo un corte de 600 gramos aproximadamente, se revisó que el bastidor estuviera totalmente operculado, se colocaron en domos de charolas estériles con tapa como se muestra en la imagen.



Figura 3. Toma de muestra en alza estándar de colmena

Una vez que las muestras fueron recolectadas se almacenaron con una temperatura que no sobrepasara los 26° C para no alterar su composición como lo menciona Tulandi (2019) en el artículo *“The effect of storage temperature on the quality of honey”*.

Con el objetivo de evaluar la calidad nutracéutica de la miel de abeja producida en cuatro municipios de la Comarca Lagunera mediante la caracterización fisicoquímica y fitoquímica de parámetros como contenido de humedad, °Brix, color, pH, compuestos fenólicos totales, flavonoides y origen botánico. Esta investigación pretende producir el conocimiento científico sobre la composición de la miel regional, ante la ausencia de estudios integrales que documenten sus propiedades en esta zona del país, lo cual podría aportar evidencia valiosa para el aprovechamiento, diferenciación comercial y fortalecimiento de la apicultura local desde una perspectiva alimentaria y funcional.

La medición de los sólidos solubles y humedad se realizó mediante un refractómetro manual de marca AN-KA® modelo 106b.

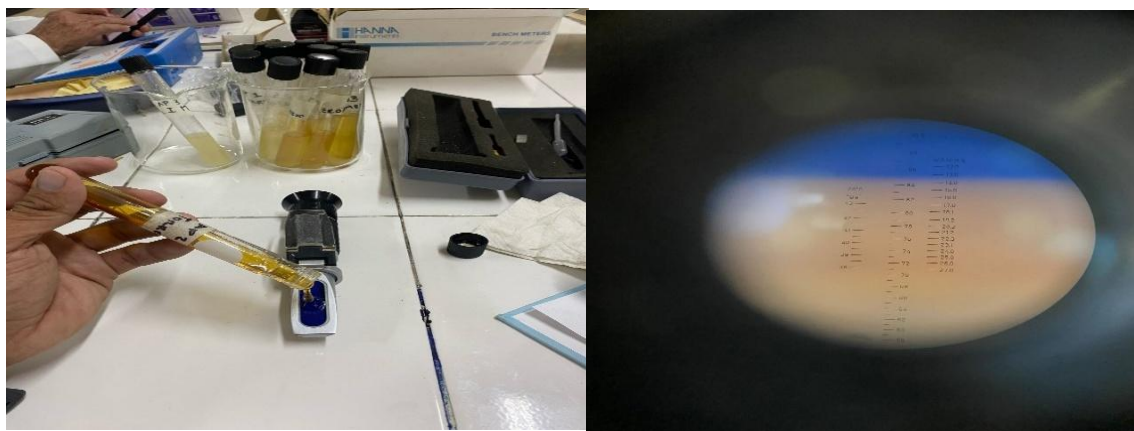


Figura 4. Toma de lectura para la medición de sólidos solubles y humedad con el refractómetro para miel marca AN-KA® modelo 106b.

Para la determinación del color se utilizó un fotocolorímetro para miel de abeja.

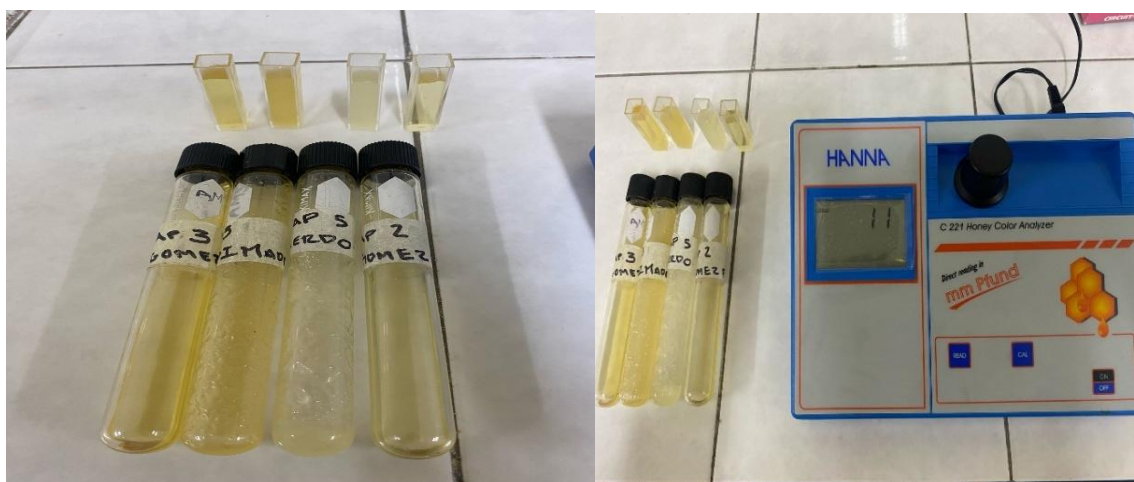


Figura 5. Muestras de miel de abeja de la primera temporada para la determinación del color mediante el fotocolorímetro Hanna® modelo c-221.

El procedimiento para determinar el pH, se llevó a cabo de acuerdo a la metodología del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA, 2022), en donde se describe la metodología para realizar dichos análisis.



Figura 6. Potenciómetro marca HANNA Instruments® modelo HI5521-01 para determinación del pH.

Para el desarrollo de los parámetros nutraceuticos de la miel como compuestos fenólicos totales y flavonoides, se emplearon diversas técnicas analíticas con el fin de determinar los diversos estudios que se realizaron, en el caso de los compuestos fenólicos totales se utilizó el reactivo Folin-Ciocalteu, y para los flavonoides con cloruro de aluminio.



Figura 7. Muestras procesadas de miel de abeja para la determinación de compuestos fenólicos

Para el caso de la determinación de compuestos flavonoides fue utilizando un espectrofotómetro UV-Visible modelo GENESYS 6.



Figura 8. Espectrofotómetro UV-Visible modelo GENESYS 6.

En la determinación del origen botánico, se llevó a cabo un análisis palinológico mediante acetólisis para observar el polen y poder determinar su origen botánico de las muestras (Kearns & Inouye, 1993), el cual fue cotejado con el atlas del polen de la Comarca Lagunera para la identificación del polen en la miel (Reyes-Carrillo, Muñoz-Soto, Cano-Rios, Eischen, & Blanco-Contreras, 2009)

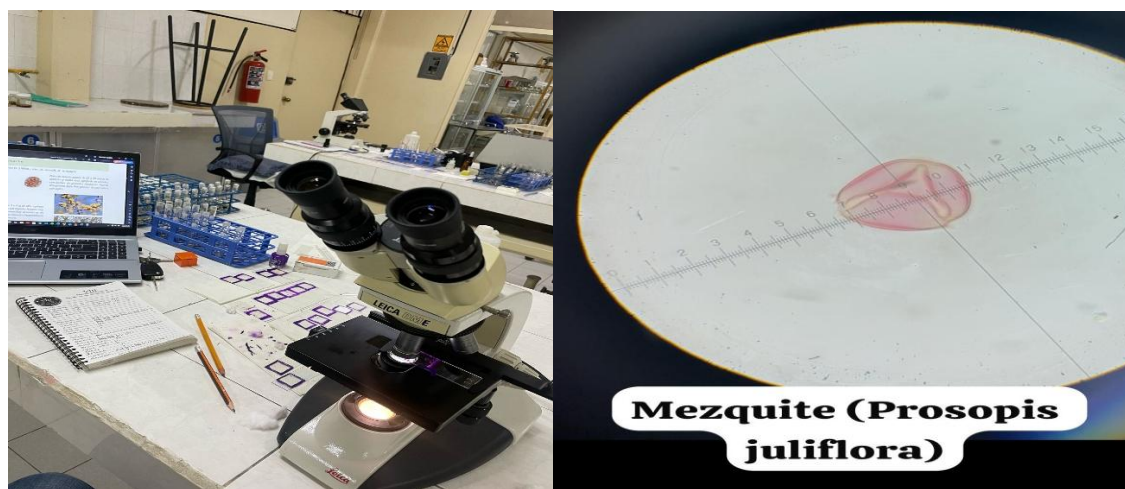


Figura 9. Toma de lecturas para identificación de polen en la miel para determinación de origen botánico

El presente trabajo se desarrolló bajo un diseño experimental completamente al azar, con un solo factor (temporada) y dos niveles: abril de 2024 y julio de 2024.

Se analizaron un total de 48 muestras de miel de abeja, correspondientes a 24 muestras de la temporada 1 (abril 2024) y 24 muestras de la temporada 2 (julio2024).

Las variables de respuesta evaluadas fueron humedad, °Brix, color y pH, y los parámetros nutraceuticos de la miel como compuestos fenólicos totales y flavonoides. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de un factor con un nivel de significancia de $p < 0.05$, con el fin de determinar diferencias estadísticas entre temporadas.

Cuando se presentaron diferencias significativas, las medias se compararon mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SAS® versión 9.4 (Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC, USA).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este trabajo tuvo como objetivo analizar las características fisicoquímicas, composición y propiedades nutraceuticas de la miel procedente de cuatro municipios de la Comarca Lagunera con la finalidad de comprender de manera integral el valor de la miel como un recurso agroalimentario, económico y benéfico para la salud pública. Las variables que fueron evaluadas humedad, °Brix, color, pH y los parámetros nutraceuticos de la miel como compuestos fenólicos totales y flavonoides.

Humedad

La humedad es un parámetro clave que influye en la estabilidad y conservación de la miel. En las muestras analizadas, se observó una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre temporadas, con valores de 12.52 % en la temporada 1 y 13.36 % en la temporada 2 como se observa en el cuadro 8.

Cuadro 8. Variables fisicoquímicas de la miel de abeja de primavera y verano de cuatro municipios de La Comarca Lagunera.

Temporada	Humedad (%)	°Brix	Color	Pfund (mm)	pH
1	12.5167 ^b	85.8833 ^a	ámbar claro	50	3.7870 ^a
2	13.3604 ^a	85.3833 ^b	ámbar	91	3.7480 ^a

Las medias acompañadas por la misma letra son iguales entre sí ($p \leq 0.01$)

El contenido de humedad, considerado el segundo componente más relevante de la miel, refleja la influencia de factores botánicos y climáticos, así como el grado de madurez alcanzado al momento de la extracción. Este parámetro adquiere importancia porque una mayor proporción de humedad puede favorecer procesos de fermentación y desencadenar reacciones químicas, afectando directamente la estabilidad y calidad del producto (González-Pérez, Figueredo-Urbina, Luna-Rodríguez, Robles Ortiz, & Medina-Pérez, 2024)

En el caso de la miel analizada en la Comarca Lagunera, los resultados mostraron valores dentro de los parámetros establecidos por la normativa, e incluso se observó un contenido de agua ligeramente inferior al límite recomendado. Este hallazgo sugiere que la miel producida en la región presenta

una adecuada madurez y un manejo postcosecha eficiente, lo que resalta su buena calidad y estabilidad frente a procesos de deterioro.

El aumento en la humedad en la segunda temporada podría atribuirse a la humedad relativa ambiental (Fernández et al., 2018; Perez et al., 2016). Por otro lado, al momento de realizar la cosecha de la miel, es fundamental aplicar un criterio adecuado para la selección de los panales. Se recomienda elegir aquellos bastidores que se encuentren completamente operculados, ya que esto garantiza que la miel haya alcanzado el grado óptimo de madurez y evita la presencia de un exceso de humedad que podría afectar su calidad y favorecer procesos de fermentación (Moguel Ordóñez, Echazarreta Gonzalez, & Mora Escobedo, 2005). Dado que se trató de una investigación sobre las propiedades nutracéuticas, las muestras se obtuvieron exclusivamente de panales completamente operculados, con el propósito de garantizar que la miel se encontrara en óptimas condiciones de madurez y conservación. Esta selección permitió reducir la posibilidad de humedad excesiva y prevenir procesos de fermentación, asegurando así la confiabilidad de los resultados. Los valores observados se mantuvieron dentro de rangos adecuados para una miel de buena calidad, lo que sugiere que el origen botánico característico de las floraciones presentes en La Comarca Lagunera influye positivamente en las propiedades físico-químicas y sensoriales del producto, destacando la calidad que distingue a las mieles de esta región.

Grados Brix

El contenido de °Brix como se muestra en el cuadro 8, mostró una diferencia significativa ($p < 0.01$) entre temporadas, con valores promedio de 85.88 °Brix en la temporada 1 y 85.38 °Brix en la temporada 2. Aunque ambos valores indican una alta concentración de azúcares, característica de mieles maduras, el valor ligeramente mayor en la primera temporada podría asociarse con condiciones climáticas más secas que favorecen la deshidratación natural de la miel.

Un nivel reducido de humedad puede actuar como una barrera protectora frente a ciertos microorganismos (Chirife, Zamora, & Motto, 2006). En este sentido, los

resultados reflejan una miel con alta concentración de sólidos solubles, lo que indica un bajo contenido de humedad. Esta característica favorece la estabilidad microbiológica del producto, ya que limita el desarrollo de levaduras y otros microorganismos responsables de la fermentación. La disminución en grados °Brix durante la segunda temporada está relacionada con el incremento en la humedad dependiendo de la floración (Martínez et al., 2022).

Color

El color de la miel presentó diferencias significativas entre temporadas ($p < 0.05$). En la temporada 1 (abril 2024), el valor promedio medido en la escala Pfund fue de 91 mm, clasificándose como ámbar (*Amber*), mientras que en la temporada 2 (julio 2024) fue de 50 mm, correspondiente a ámbar claro (*Light Amber*). Los resultados indican que la estación del año influyó significativamente en la intensidad del color, esto se debe al origen botánico relacionado con la presencia de pigmentos, polifenoles y minerales, ya que mieles más oscuras suelen tener mayor actividad antioxidante (García-Chaviano et al., 2022).

Acidez (pH)

Como se observa en el cuadro 8, en las muestras evaluadas, los valores promedio fueron de 3.79 en la temporada 1 y 3.75 en la temporada 2, sin diferencias significativas ($p > 0.05$). La similitud entre temporadas sugiere una estabilidad química de la miel, asociada a condiciones ambientales homogéneas y a prácticas apícolas adecuadas (García-Chaviano et al., 2022).

El valor alto de acidez en la miel generalmente es un indicador de alteración, causada principalmente por procesos de fermentación (González-Pérez, Figueredo-Urbina, Luna-Rodríguez, Robles Ortiz, et al., 2024), sin embargo, en este estudio, los valores de acidez obtenidos se mantuvieron dentro de los parámetros aceptables, lo que sugiere que la miel analizada no presentó deterioro ni fermentación, confirmando así su buena calidad y adecuado manejo durante toma de muestras y su almacenamiento.

Nutracéuticos

Fenólicos totales

Los contenidos de compuestos fenólicos totales mostraron una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre temporadas, como podemos ver en el cuadro 9. En la estación de verano se obtuvo un valor promedio de 0.6497, mientras que en la de primavera el valor fue de 0.1605 mg AGE/100 g de miel. Esta diferencia indica una variación significativa entre temporadas, lo que sugiere que las condiciones ambientales o fisiológicas propias de cada periodo influyeron en la síntesis y acumulación de compuestos fenólicos. Este incremento sugiere que hubo una mayor presencia de fuentes florales con un alto contenido de metabolitos secundarios o que las condiciones climáticas que imperaban favorecieron la acumulación en el néctar (Becerril-Sánchez, Quintero-Salazar, Dublán-García, & Escalona-Buendía, 2021). La disminución en el contenido de compuestos fenólicos durante la primera temporada podría estar relacionada con una menor disponibilidad de especies vegetales ricas en metabolitos secundarios, ya que la floración de estas suele reducirse por la baja cantidad de lluvias. Dado que el contenido fenólico depende de la estacionalidad y de la diversidad floral local, una menor oferta de fuentes nectaríferas podría explicar esta reducción (Cianciosi et al., 2018). En distintos estudios sobre miel, se ha observado que existe una fuerte correlación positiva entre el contenido total de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, lo que sugiere que estos metabolitos secundarios son los principales responsables del potencial antioxidante de la miel. Esta relación indica que las variaciones en la concentración de fenoles totales podrían reflejarse directamente en los valores de actividad antioxidante, independientemente de la época de recolección o del origen floral (Sultana, Lawag, Lim, Foster, & Locher, 2024).

Cuadro 9. Variables nutraceuticas de la miel de abeja de primavera y verano de cuatro municipios de La Comarca Lagunera.

Temporada	Fenólicos totales	Flavonoides
1	0.1605b	0.2752a
2	0.6497a	0.2729a

Las medias acompañadas por la misma letra son iguales entre sí ($p \leq 0.01$)

Flavonoides

El contenido de flavonoides en la miel no mostró diferencias significativas entre la temporada 1 (abril) y la temporada 2 (julio), indicando que la estación del año no afectó de manera significativa este parámetro ($p > 0.05$). Estos resultados sugieren que el perfil de flavonoides se mantiene relativamente estable en la miel de la Comarca Lagunera con independencia de la estación del año. Estudios previos también han observado que ciertos flavonoides individuales no varían entre temporadas y que la recolección estacional no siempre implica diferencias en el contenido total de estos compuestos (Bernklau & Arathi, 2023). La distribución homogénea entre regiones sugiere una presencia uniforme de fuentes florales que aportan esos compuestos en la Comarca Lagunera (Bouacha et al., 2024; Bozkuş, 2025).

Origen botánico

Para la temporada de primavera como se observa en el cuadro 10, de acuerdo a Louveaux et al. (1978) la miel es monofloral, siendo dominante la flor de la especie vegetal *Prosopis juliflora* ("mezquite") que representó el 45.14 % del total de granos de polen, mientras que el conjunto "Diversas especies" constituyó el 40.92 %. Esto sugiere que la miel de primavera se basa principalmente en un recurso floral predominante, aunque con aporte moderado de otros.

Análisis melisopalinológico

Cuadro 10. Variables del origen botánico de la miel de abeja de primavera de cuatro municipios de La Comarca Lagunera.

Especie	Número de granos de polen	%
Mezquite (<i>Prosopis juliflora</i>)	256	45.14
Picosilla (<i>Acalypha neomexicana</i> Muell.)	48	8.47
Hierba huevona (<i>Lesquerella fendleri</i>) (Gray) S.Wats.	31	5.47
Diversas especies (78 spp)	232	40.92
Total	567	100.00

Para la temporada de verano, como se muestra en el cuadro 11, la distribución cambia: “Diversas especies” representan 50.44 % de los granos de polen, mientras que las especies dominantes individuales (como *Sorghum vulgare* 20.52 % y *Tamarix aphylla* 16.87 %) juntos suman menos del 40 %. Esto indica que la miel de verano tiene un carácter claramente multifloral, con varias especies contribuyendo de forma significativa al néctar/polen.

Cuadro 11. Variables del origen botánico de la miel de abeja de verano de cuatro municipios de La Comarca Lagunera.

Especie	Número de granos de polen	%
Sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>)	118	20.52
Pinabete (<i>Tamarix aphilla</i>)	97	16.87
Quelite (<i>Amaranthus palmeri</i> S. Wats.)	42	7.30
Abrojo (<i>Cenchrus echinatus</i> L.)	28	4.87
Diversas especies (87 spp)	290	50.44
Total	575	100

Diversas investigaciones han reportado que las mieles de origen multifloral presentan una mayor variabilidad en el contenido de compuestos fenólicos en comparación con las monoflorales, debido a la diversidad de fuentes vegetales que contribuyen a su elaboración (Becerril-Sánchez et al., 2021). Se observó que el color de la miel varió entre temporadas, pasando de un tono ámbar claro en la primera cosecha a ámbar en la segunda. Este cambio puede atribuirse al aumento en el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, ya que diversos estudios han reportado que la intensidad del color de la miel se encuentra positivamente correlacionada con la concentración de compuestos fenólicos y flavonoides, siendo las mieles más oscuras las que presentan los valores más altos de estos compuestos (Sultana et al., 2024). Dichos metabolitos participan no sólo en la coloración, sino también en la capacidad antioxidante del producto, por lo que su incremento puede reflejar una mayor complejidad química derivada de la diversidad floral presente durante la segunda temporada.

V. CONCLUSIONES

El análisis de la miel procedente de cuatro municipios de la Comarca Lagunera permitió determinar que sus características fisicoquímicas y nutraceuticas presentan variaciones significativas en función de la temporada y del origen botánico. La humedad, °Brix y color mostraron diferencias entre primavera y verano, reflejando la influencia de factores climáticos y de la diversidad floral. En particular, la miel de verano, de carácter multifloral, presentó mayor contenido de compuestos fenólicos totales y un color más oscuro, lo que se asocia con un mayor potencial antioxidante y complejidad química, mientras que los flavonoides se mantuvieron relativamente constantes, sugiriendo estabilidad de este parámetro independientemente de la estación.

El análisis melisopalinológico confirmó la relación entre la composición floral y las propiedades de la miel, evidenciando que la diversidad de fuentes nectaríferas contribuye a la riqueza en metabolitos secundarios y a la variación en color y actividad antioxidante. Asimismo, los valores de pH y humedad se mantuvieron dentro de los límites aceptables, indicando que la miel recolectada presenta buena calidad y manejo postcosecha adecuado.

En conjunto, estos hallazgos destacan que la miel de la Comarca Lagunera es un producto de alta calidad, con características fisicoquímicas y nutraceuticas sobresalientes, lo que refuerza su valor como recurso agroalimentario funcional y su potencial beneficio para la salud humana.

VI. LITERATURA CITADA

- Abdi, K., Ben Said, M., Crotti, E., Masmoudi, A. S., & Cherif, A. (2023). The promise of probiotics in honeybee health and disease management. *Archives of Microbiology*, 205(2), 1-11. doi:10.1007/s00203-023-03416-z
- Abedelmaksoud, T. G., El-Masarawy, M. S., Altemimi, A. B., Hesarinejad, M. A., Hussein, A. M. S., & Smuda, S. S. (2024). Drones and workers of honeybee *Apis mellifera* L. dried powder: Chemical composition, antioxidant, and anticancer assessment. *Food Science & Nutrition*, 12(12), 10357-10369. doi:10.1002/fsn3.4581
- Aga, M. B., Sharma, V., Dar, A. H., Dash, K. K., Singh, A., Shams, R., & Khan, S. A. (2023a). Comprehensive review on functional and nutraceutical properties of honey. *eFood*, 4(2), e71. doi:<https://doi.org/10.1002/efd2.71>
- Aga, M. B., Sharma, V., Dar, A. H., Dash, K. K., Singh, A., Shams, R., & Khan, S. A. (2023b). Comprehensive review on functional and nutraceutical properties of honey. 4(2), e71. doi:<https://doi.org/10.1002/efd2.71>
- Babarinde, G. O., Babarinde, S. A., Adegbola, D. O., & Ajayeoba, S. I. (2011). Effects of harvesting methods on physicochemical and microbial qualities of honey. *J Food Sci Technol*, 48(5), 628-634. doi:10.1007/s13197-011-0329-9
- Baena-Díaz, F., Chévez, E., de la Merced, F. R., & Porter-Bolland, L. (2022). *Apis mellifera* en México: producción de miel, flora melífera y aspectos de polinización. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(2), 525-548. doi:10.22319/rmcp.v13i2.5960
- Barrera, O. I. C., & Llanos, G. A. H. (2023). Factores que determinan las propiedades fisicoquímicas de la miel de abejas: Revisión Sistemática de Literatura. *Revista Mutis*, 13(1), 1-28. doi:10.21789/22561498.1851
- Becerril-Sánchez, A. L., Quintero-Salazar, B., Dublán-García, O., & Escalona-Buendía, H. B. (2021). Phenolic Compounds in honey and their relationship with antioxidant activity, botanical origin, and color. *Antioxidants (Basel)*, 10(11). doi:10.3390/antiox10111700
- Bernklau, E., & Arathi, H. S. (2023). Seasonal patterns of beneficial phytochemical availability in honey and stored pollen from honey bee colonies in large apiaries. *Journal of Economic Entomology*, 116(4), 1069-1077. doi:10.1093/jee/toad096
- Bouacha, M., Besnaci, S., Tigha-Bouaziz, N., & Boudiar, I. (2024). Evaluation of antibacterial, anti-inflammatory, antioxidant, and wound-healing properties of multifloral honey. *International Food Research Journal*, 31(5), 1094-1106. doi:10.47836/ifrj.31.5.02
- Bozkuş, T. N. (2025). Correlation of total polyphenol and flavonoid content with antioxidant activity of caucasian bee honey. *Food Science & Nutrition*, 13(1), 1-7. doi:10.1002/fsn3.4611
- Campo-Barrera, O. I., & Hincapié-Llanos, G. A. (2023). Factores que determinan las propiedades fisicoquímicas de la miel de abejas: Revisión Sistemática de Literatura. *Revista Mutis*, 13(1), 1-28. doi:10.21789/22561498.1851
- Chirife, J., Zamora, M. C., & Motto, A. (2006). The correlation between water activity and % moisture in honey: Fundamental aspects and application to Argentine honeys. *Journal of Food Engineering*, 72(3), 287-292. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.009>

- CiAnciosi, D., Forbes-Hernández, T., Afrin, S., Gasparrini, M. R.-R., P, Manna, P. P., Zhang, J., . . . Battino, M. (2018). Phenolic compounds in honey and their associated health benefits: A review. *Molecules* 23(9). doi:<https://doi.org/10.3390/molecules23092322>
- Cueto, P. (2025). Producción de miel en Coahuila cae 54 toneladas en 14 años. *El tiempo MX*, p. Consultado el 2 de julio del 2025. Retrieved from <https://eltiempomx.com/noticia/2025/produccion-de-miel-en-coahuila-cae-54-toneladas-en-14-anos.html>
- Dáttilo, W., Cruz, C. P., Luna, P., Ratoni, B., Hinojosa-Díaz, I. A., Neves, F. S., . . . Guevara, R. (2022). The impact of the honeybee *Apis mellifera* on the organization of pollination networks is positively related with its interactive role throughout its geographic range. *Diversity* (14242818), 14(11), 917. doi:10.3390/d14110917
- Díaz, A. L. R., & López, N. A. P. (2016). Etapas de la producción de miel. In CIATEJ (Ed.), *Producción y comercialización de miel y sus derivados en México: Desafíos y oportunidades para la exportación*.
- Etxegarai-Legarreta, O., & Sanchez-Famoso, V. (2022). The role of beekeeping in the generation of goods and services: The interrelation between environmental, socioeconomic, and sociocultural utilities. *Agriculture*, 12(4). doi:10.3390/agriculture12040551
- Faienza, M. F., Giardinelli, S., Annicchiarico, A., Chiarito, M., Barile, B., Corbo, F., & Brunetti, G. (2024). Nutraceuticals and functional foods: A comprehensive review of their role in bone health. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(11), 5873. doi:10.3390/ijms25115873
- FAO. (2020). MIEL. <https://www.fao.org/documents/card/fr?details=CA4657ES>, Consultada el 17 de enero de 2024.
- Fernández, L. A. P., Franceschi, F. A., Fernández, J. M. P., Bahena, P. H., & Reyes, R. R. (2018). Condición y perspectivas de la meliponicultura en comunidades mayas de la reserva de la biósfera Los Petenes, Campeche, México. *Estudios de Cultura Maya*, 52(0), 227-254. doi:10.19130/iifl.ecm.2018.52.939
- FIRCO. (2016). Apicultura, Actividad De Gran Importancia Para La Economía Y El Medio Ambiente En México. <https://www.gob.mx/firco/articulos/apicultura-actividad-de-gran-importancia-para-la-economia-y-el-medio-ambiente-en-mexico?idiom=es>, Consultada el 18 de enero de 2024.
- García-Chaviano, M. E., Armenteros-Rodríguez, E., Escobar-Álvarez, M. d. C., García-Chaviano, J. A., Méndez-Martínez, J., & Ramos-Castro, G. (2022). Composición química de la miel de abeja y su relación con los beneficios a la salud %J Revista Médica Electrónica. 44, 155-167.
- González-Pérez, L. M., Figueredo-Urbina, C. J., Luna-Rodríguez, L., Robles-Ortiz, D., & Medina-Pérez, G. (2024). Una breve revisión de la composición y valor nutracéutico de la miel de *Apis mellifera*. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, Vol. 10, No. 20.
- González-Pérez, L. M., Figueredo-Urbina, C. J., Luna-Rodríguez, L., Robles Ortiz, D., & Medina-Pérez, G. (2024). Una breve revisión de la composición y valor nutracéutico de la miel de *Apis mellifera*. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 10(20), 1-9. doi:10.29057/icap.v10i20.12886

- Haque, M. A., Khaliduzzaman, A., Asaduzzaman, M., Pattadar, S. N., & Hasan, M. (2023). Dietary food antioxidants and their radical scavenging activity: A review. *International Food Research Journal*, 30(1), 63-78. doi:10.47836/ifrj.30.1.04
- INAES. (2018). Historia e importancia de la Apicultura. https://www.gob.mx/inaes/articulos/64415?utm_source=chatgpt.com, Consultada el 12 de diciembre del 2024.
- INEGI. (2024). Actualización del atlas nacional de las abejas y sus derivados apícolas. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/especiales/AtlasN_Abejas24.pdf, Consultado el 13 de diciembre del 2024.
- INEGI. (2025). Mapas. <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=>, Consultado el 15 de julio del 2025.
- INIA. (2022). Metodologías para la determinación de parámetros fisicoquímicos y de calidad en miel. <https://biblioteca.inia.cl/items/cfed4374-1460-4b0e-b1e6-cb9872edfb13>, Consultado el 23 de julio del 2025.
- INIFAP. (2023). Producción de miel artesanal de la floración de mezquite y pinabete en la Comarca Lagunera. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/produccion-de-miel-artesanal-de-la-floracion-de-mezquite-y-pinabete-en-la-comarca-lagunera>, Consultado el 20 de diciembre del 2024.
- Jaśkiewicz, K., Szczęśna, T., & Jachula, J. (2025). How phenolic compounds profile and antioxidant activity depend on botanical origin of honey—A case of polish varietal honeys. *Molecules*, 30(2), 360. doi:10.3390/molecules30020360
- Kafantaris, I., Amoutzias, G. D., & Mossialos, D. (2021). Foodomics in bee product research: a systematic literature review. *European Food Research & Technology*, 247(2), 309-331. doi:10.1007/s00217-020-03634-5
- Kearns, C. A., & Inouye, D. W. (1993). *Techniques for Pollination Biologists*: University Press of Colorado.
- Kebede, I., Fesseha, H., Jibril, A., & Dahesa, G. (2024). Bee products and their processing: a review. *Pharmacy & Pharmacology International Journal*, 12, 5-12. doi:10.15406/ppij.2024.12.00425
- Kieliszek, M., Piwowarek, K., Kot, A. M., Wojtczuk, M., Roszko, M., Bryła, M., & Trajkovska Petkoska, A. (2023). Recent advances and opportunities related to the use of bee products in food processing. *Food Sci Nutr*, 11(8), 4372-4397. doi:10.1002/fsn3.3411
- Laura, T., Florin, R., Cosmin, S., & Luminita, P. (2022). Honeybees-food and ingredient in dishes. *Agricultural Management / Lucrari Stiintifice Seria I, Management Agricol*, 24(3), 285-288.
- Lawag, I. L., Lim, L.-Y., Joshi, R., Hammer, K. A., & Locher, C. (2022). A comprehensive survey of phenolic constituents reported in monofloral honeys around the globe. *Foods*, 11(8). doi:10.3390/foods11081152
- López-Roblero, E., Espinoza-Toledo, C., López-García, J. A., Grajales-Conesa, J., & Quiroz-García, D. L. (2021). Floral resources collected by four native bees species in southern Mexico. *Grana*, 60(1), 57-68. doi:10.1080/00173134.2020.1767195
- Louveaux, J., Maurizio, A., & Vorwohl, G. (1978). Methods of melissopalynology. *Bee World*, 59, 139-154. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/0005772X.1978.11097714>

- Luo, X., Dong, Y., Gu, C., Zhang, X., & Ma, H. (2021). Processing technologies for bee products: An overview of recent developments and perspectives. *Front Nutr*, 8, 727181. doi:10.3389/fnut.2021.727181
- Mara, A., Mainente, F., Soursou, V., Picó, Y., Perales, I., Ghorab, A., . . . Ciulu, M. (2025). New Insights on quality, safety, nutritional, and nutraceutical properties of honeydew honeys from Italy. *Molecules*, 30(2), 410. doi:10.3390/molecules30020410
- Martinello, M., & Mutinelli, F. (2021). Antioxidant activity in bee products: A review. *Antioxidants (Basel)*, 10(1). doi:10.3390/antiox10010071
- Martínez, T. C., Osorio, C. G., Muñiz, J. G. G., Ávila, J. A., & Valverde, R. R. (2022). Azúcares y °brix en miel de *Apis mellifera*, *Melipona beecheii* y miel comercial del mercado local en México. *Veterinaria México OA*, 9(e950). doi:<https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2022.950>
- Moguel Ordóñez, Y.-B., Echazarreta Gonzalez, C., & Mora Escobedo, R. (2005). Calidad fisicoquímica de la miel de abeja *Apis mellifera* producida en el estado de Yucatán durante diferentes etapas del proceso de producción y tipos de floración. *Técnica Pecuaria en México*, 43(3), 323-334.
- Morariu, I.-D., Avasilcai, L., Vieriu, M., Lupu, V. V., Ioniuc, I., Morariu, B.-A., . . . Trandafir, L. (2024). A Comprehensive narrative review on the hazards of bee honey adulteration and contamination. *Journal of Food Quality*, 2024, 1-13. doi:10.1155/2024/3512676
- Navarro-Martínez, A., Aguilar, A. J., Aguilar-Martínez, J., NavarroVillarruel, C. L., Casillas, J. E., Gutiérrez-Lomelí, M., . . . Robles-García, M. A. (2021). Determinación de las características fisicoquímicas de mieles del Occidente de México. *Avances de Investigación en Inocuidad de alimentos*, 4.
- Naveen, B., Himani, T., Zulphakar, A. M., & Kishor, C. K. (2024). Review on the Impact of Nutraceuticals on Health Care. *International Journal of Pharmacy & Life Sciences*, 15(5), 32-45.
- Nekoei, S., Rezvan, M., Khamesipour, F., Mayack, C., Molento, M. B., & Revainera, P. D. (2023). A systematic review of honey bee (*Apis mellifera*, Linnaeus, 1758) infections and available treatment options. *Veterinary Medicine and Science*, 9(4), 1848-1860. doi:10.1002/vms3.1194
- Nyarko, K., Mensah, S., & Greenlief, C. M. (2024). Examining the use of polyphenols and sugars for authenticating honey on the U.S. market: A comprehensive review. *Molecules*, 29(20). doi:10.3390/molecules29204940
- Perez, B., Contreras Escareño, F., Echazarreta, C., Macías Macías, J. O., Tapia González, J. M., & Cavazos Arroyo, J. (2016). Beekeeping in Jalisco, México. In E. Dechechi Chambó (Ed.), *Beekeeping and Bee Conservation - Advances in Research*. Rijeka: IntechOpen.
- Ramos-Cuellar, A. K., De la Mora, A., Contreras-Escareño, F., Morfin, N., Tapia-González, J. M., Macías-Macías, J. O., . . . Guzman-Novoa, E. (2023). Efectos altitudinales en la africanización de las colonias de abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) en Jalisco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(3), 1-12. doi:10.19136/era.a10n3.3457
- Ramos-Cuellar, A. K., Mora, A. D. I., Contreras-Escareño, F., Morfin, N., Tapia-González, J. M., Macías-Macías, J. O., . . . Guzman-Novoa, E. (2023). Efectos altitudinales en la africanización de las colonias de abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) en

- Jalisco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(3), 1-12. doi:10.19136/era.a10n3.3457
- Redagricola. (2025). Mexico se ubica en el top 10 entre los principales productores de miel a nivel mundial. <https://redagricola.com/mexico-se-ubica-en-el-top-10-entre-los-principales-productores-de-miel-a-nivel-mundial/>, Consultado el 2 de julio del 2025.
- Reyes-Carrillo, J. L., Muñoz-Soto, R., Cano-Rios, P., Eischen, F. A., & Blanco-Contreras, E. (2009). *Atlas del polen de la Comarca Lagunera, Mexico* (U. A. A. A. Narro Ed. Primera edicion 2009 ed.).
- Rivera-Mondragón, A., Marrone, M., Bruner-Montero, G., Gaitán, K., de Núñez, L., Otero-Palacio, R., . . . Fernández-Marín, H. (2023). Assessment of the quality, chemometric and pollen diversity of *Apis mellifera* honey from different seasonal harvests. *Foods*, 12(19). doi:10.3390/foods12193656
- SADER. (2023). Produccion agropecuaria y el clima - representacion region lagunera - subdelegacion de planeacion. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892300/BOLET_N_INF_PROD_AGROP_Y_CLIMA_No_2.pdf, Consultado el 15 de julio del 2025.
- SADR. (2020). La apicultura en nuestro pais tiene una gran importancia socioeconomica y ecologica. Por ello es importante proteger a las abejas, su poblacion y diversidad. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-apicultura-en-mexico?idiom=es>, Consultada el 15 de diciembre del 2024.
- Samarghandian, S., Farkhondeh, T., & Samini, F. (2017). Honey and health: A review of recent clinical research. *Pharmacognosy research*, 9(2), 121-127. doi:<https://doi.org/10.4103/0974-8490.204647>
- Sultana, S., Lawag, I. L., Lim, L. Y., Foster, K. J., & Locher, C. (2024). A critical exploration of the total flavonoid content assay for honey. *Methods Protoc*, 7(6). doi:10.3390/mps7060095
- Tulandi, S. (2019). The effect of storage temperature on the quality of honey. *SANITAS : Jurnal Teknologi dan Seni Kesehatan*, 10, 59-71. doi:10.36525/sanitas.2019.6
- Ulloa, J. A., Mondragon-Cortez, P. M., Rodriguez-Rodriguez, R., Resendiz-Vazquez, J. A., & Rosas-Ulloa, P. (2010). La miel de abeja y su importancia. *La fuente* 11-12.
- Vargas-Valero, A., Luis Reyes-Carrillo, J., Gaspar-Ramírez, O., & Moreno-Reséndez, A. (2021). Parasitosis y residuos de plaguicidas en miel y cera en colonias de abejas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2), 1-13. doi:10.19136/era.a8n2.2827
- Vázquez-González, C., Mejía-Garibay, B., Robles-López, M. R., & Ramírez-López, C. (2020). Impacto de las tecnologías de procesamiento del brócoli sobre compuestos fitoquímicos relevantes en salud humana: una revisión. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 21(2).
- Vîjan, L. E., Mazilu, I. C., Enache, C., Enache, S., & Topală, C. M. (2023). Botanical Origin Influence on Some Honey Physicochemical Characteristics and Antioxidant Properties. *Foods*, 12(11). doi:10.3390/foods12112134
- Wakgari, M., & Yigezu, G. (2021). Honeybee keeping constraints and future prospects. *Cogent Food & Agriculture*, 7(1). doi:10.1080/23311932.2021.1872192
- Wang, H., Li, L., Lin, X., Bai, W., Xiao, G., & Liu, G. (2023). Composition, functional properties and safety of honey: a review. *J Sci Food Agric*, 103(14), 6767-6779. doi:10.1002/jsfa.12720

- Wu, M.-C., Wu, C.-Y., Klaithin, K., Tiong, K. K., & Peng, C.-C. (2022). Effect of harvest time span on physicochemical properties, antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory activities of Meliponinae honey. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(13), 5750-5758. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.11924>
- Yavarik Alvarado-Avila, L., Beatriz Moguel-Ordóñez, Y., García-Figueroa, C., Javier Ramírez-Ramírez, F., & Enrique Arechavaleta-Velasco, M. (2022). Presencia de alcaloides pirrolizidínicos en miel y los efectos de su consumo en humanos y abejas. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(3), 787-802. doi:10.22319/rmcp.v13i3.6004