



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
MODALIDAD DIRECTO**

TESIS

**Estudio sobre *Varroa destructor*: Prevalencia y
alternativas naturales para su combate**

Para obtener el grado de

Doctor en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA

MVZ Noé Ríos Argüelles

Directora

Dra. Maricela Ayala Martínez

Codirector

Dr. Sergio Soto Simental

Asesor

Dr. Juan Ocampo López

Ciudad Universitaria Tulancingo, 19 de enero de 2026.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Agropecuarias
School of Forestry and Environmental Studies

Doctorado en Ciencias Agropecuarias-Directo



PTC/MAM/03/2026

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar
Presente.

El Comité Tutorial del TESIS del programa educativo de posgrado titulado "Estudio sobre *Varroa destructor*: Prevalencia y alternativas naturales para su combate", realizado por el sustentante MVZ. Noé Ríos Argüelles con 080240 perteneciente al programa de **Doctorado en Ciencias Agropecuarias (Directo)**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que el sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente

"Amor, Orden y Progreso"

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo a 19 de enero del 2026

El Comité Tutorial


Dra. Maricela Ayala Martínez
Directora




Dr. Sergio Soto Simental
Codirector


Dr. Juan Ocampo López
Miembro del comité

Av. Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo, CP 43775.
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, México.
Doctorado en Ciencias Agropecuarias-Directo.
Coordinador Dr. Armando Zepeda Bastida. Ext. 42091.
doctoradodirectoicap@gmail.com azepeda@uaeh.edu.mx



www.uaeh.edu.mx

DEDICATORIA

A mi familia, cuya presencia constante ha sido el cimiento sobre el que he construido cada paso de este camino, con persistencia, superando obstáculos y enfrentando la incertidumbre, permitiéndole confiar en el proceso. A mis padres, por enseñarme el valor de la disciplina, el sacrificio silencioso y la fe inquebrantable en mis capacidades. A mis hermanos, por recordarme siempre que los logros se celebran mejor cuando se comparten con quienes nos han acompañado en la travesía.

Dedico también este trabajo a quienes ya no están físicamente, pero cuya memoria ilumina mis decisiones y fortalece mi espíritu. Sus enseñanzas, gestos y palabras permanecen grabados en cada logro alcanzado.

A mis maestros y mentores, por abrirme puertas, por cuestionar mis certezas y exigirme alcanzar niveles a los que jamás imaginé llegar. Gracias por alimentar mi curiosidad y por mostrarme que la investigación es un acto de pasión, paciencia y responsabilidad.

Este es testimonio de un recorrido complejo, pero profundamente transformador, que marcó mi vida tanto personal como profesionalmente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, sus dirigentes, docentes y administrativos que hicieron posible la culminación de este proyecto doctoral, el cual no solo representa un logro académico, sino también un compromiso ético con la verdad, la responsabilidad y el servicio a la comunidad científica.

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias que me acogió durante estos años, por ofrecer un espacio donde el amor, el orden y el progreso, así como la búsqueda genuina del bien común, son los pilares fundamentales de la formación investigadora. Su confianza en mi trabajo reafirmó mi deber de corresponder con responsabilidad y carácter.

A la Dra. Maricela Ayala Martínez quien con lealtad intelectual y rigor metodológico guio cada etapa de este trabajo. Su ejemplo de integridad, honestidad académica y respeto por el conocimiento ha sido una lección invaluable que trasciende cualquier aula o laboratorio. Gracias por enseñarme que la excelencia científica sólo es posible cuando se actúa con rectitud y compromiso.

Al Dr. Sergio Soto Simental que, a lo largo de este proceso, su guía experta orientó cada decisión metodológica y cada reflexión crítica, permitiéndome crecer no solo como investigador, sino también como profesional comprometido con la ética y la excelencia. Su capacidad para escuchar, cuestionar y motivar en los momentos de mayor complejidad fue una luz que dio claridad al camino cuando las dudas parecían más grandes que los avances.

Al Dr. Juan Ocampo López por la confianza depositada en mi trabajo, la libertad intelectual que me permitió desarrollar ideas propias, y la lealtad académica con la que defendió este proyecto en cada etapa. Su ejemplo permanecerá como una referencia para mi ejercicio futuro.

A mis padres, Marcos y Margarita quienes, con su apoyo inquebrantable, paciencia y confianza en mis capacidades me dieron la fuerza para enfrentar los momentos más desafiantes de este proceso. Cada logro alcanzado es también fruto de su esfuerzo silencioso y de los sacrificios que realizaron para brindarme educación, oportunidades y seguridad.

A mi amada esposa, Margarita Osorio Licon, cuyo infinito amor y paciencia han sido la fuerza silenciosa que sostuvo cada una de mis decisiones durante este largo camino doctoral. Gracias por acompañarme en los días luminosos y, sobre todo, en aquellos en los que el cansancio, la duda o la presión parecían más grandes que mis propias capacidades. Tu presencia constante, tus palabras de aliento y tu confianza inquebrantable en mí me recordaron siempre por qué valía la pena continuar. Has sido refugio, impulso y equilibrio. Gracias por comprender las ausencias, las noches interminables de trabajo y los momentos en los que mi mente estaba más en la investigación que en la vida cotidiana. Esta tesis es

también tuya, porque cada página lleva impregnada la esencia de tu apoyo y la fuerza de tu corazón. Gracias por caminar conmigo con tanta devoción y nobleza.

A mis hijos Sofía Yolotzin y Héctor Noé, por ser mi gran motivación y por todo su comprensión, paciencia y amor incondicional, aun cuando este proyecto me robo tiempo que debería haber compartido con ustedes, gracias por soportar mis ausencias, mis momentos de concentración y mis preocupaciones, y por llenar de alegría y luz cada instante juntos cuando lograba desconectarme del trabajo académico. Ustedes me enseñaron a valorar el tiempo, la paciencia y la importancia de los lazos familiares. Cada página de esta tesis lleva implícita la inspiración que encuentro en ustedes, la motivación para seguir adelante y el compromiso de hacer que mis esfuerzos contribuyan a un futuro mejor para nuestra familia.

ÍNDICE

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE	6
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	9
INTRODUCCIÓN	10
JUSTIFICACIÓN	13
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
HIPÓTESIS	15
CAPÍTULO I	16
REVISIÓN DE LITERATURA	16
1. Situación de la producción apícola.....	16
1.1. Situación actual a nivel mundial.	16
1.2. Situación actual a nivel nacional.....	18
1.3. Situación actual en el estado de Hidalgo.....	20
2. Importancia de la producción apícola.	21
3. Factores que afectan la producción apícola.....	22
3.1. Sociales.	22
3.2. Productivos.....	23
3.3. Tecnológicos.	23
3.4. Ambientales.....	23
4. Generalidades de <i>Apis mellifera</i>	24
4.1. Clasificación taxonómica:	25
4.2. Jerarquización de las abejas.	25
4.3. Reina.	25
4.4. Zánganos.	26
4.5. Obreras.	26
5. Anatomía y fisiología de la <i>A. mellifera</i>	27
5.1. Anatomía Externa.....	27
5.2. Anatomía Interna.....	28

7.	Patologías que afectan a la <i>A. mellifera</i> .	29
7.1.	Loque americana.	29
7.2.	Loque europea.	30
7.3.	Cría de cal.	30
7.4.	Cría de piedra.	31
7.5.	Nosemosis.	31
7.6.	Acariosis.	32
7.7.	<i>Varroa destructor</i> .	32
7.7.1.	Etiología.	33
7.7.2.	Distribución.	34
7.7.3.	Patogenia.	34
7.7.4.	Situación zoonosanitaria de <i>Varroa destructor</i> .	35
7.7.5.	Prevención.	35
7.7.6.	Diagnóstico y niveles de infestación.	35
7.7.7.	Prueba David de Jong.	35
7.8.	Tratamientos.	36
7.8.1.	Físicos.	36
7.8.2.	Químicos.	37
7.8.3.	Biológicos.	38
7.8.4.	Alternativos.	38
7.8.4.1.	Aceites esenciales.	38
7.8.4.2.	Hidrolatos.	39
8.	Plantas aromáticas antiparasitarias.	40
8.1.	Características fitoquímicas del <i>Origanum vulgare Labiatae</i> .	40
8.2.	Características fitoquímicas del <i>Dalbergia palo-escrito</i> .	41
8.3.	Características fitoquímicas del <i>Tithonia diversifolia</i> .	41
8.4.	Características fitoquímicas del <i>Lavandula angustifolia</i> .	42
8.5.	Características fitoquímicas del <i>Populus alba</i> .	42
9.	Referencias.	43
CAPÍTULO II		51
Características sociodemográficas, productivas y tecnológicas de apicultores en la Huasteca Hidalguense		51
Resumen		51
Introducción		52

Materiales y métodos	53
Localización del área de estudio.	53
Obtención de la muestra.....	53
Diseño del cuestionario y su aplicación.	53
Índices tecnológicos.....	53
Análisis estadístico.	54
Resultados y discusión	54
Características sociodemográficas de los apicultores de la Huasteca Hidalguense.....	54
Características de la unidad y proceso de producción de apiarios en la Huasteca Hidalguense.	55
Conclusión.....	57
Agradecimientos.....	57
Referencias.....	58
Anexos capítulo II	61
CAPÍTULO III	69
Hidrolatos y aceites esenciales afectan a los ácaros <i>Varroa destructor</i> en ensayos <i>in vitro</i>	69
Resumen.....	69
Introducción.....	69
Materiales y métodos	71
Pruebas In vitro.....	71
Análisis estadístico	72
Resultados	73
Discusión	75
Conclusión.....	82
Agradecimientos.....	82
Contribuciones de los autores	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Producción de miel por continente.	17
Figura 2 Regiones apícolas de México.....	22
Figura 3 <i>Apis mellifera</i> sp.....	27
Figura 4 Anatomía externa de la abeja.....	28
Figura 5 Componentes principales de los índices tecnológicos de productores de miel de la región Huasteca del estado de Hidalgo, México. (IMALI: Índice de manejo alimenticio; IMA: Índice de manejo del apiario; IMG: Índice manejo general; IT: Índice total; IMS: Índice de manejo sanitario; IMS_1: Índice de manejo sustentable).	61
Figura 6 Conglomerados de acuerdo con las características de índices tecnológicos de apicultores de la región Huasteca del estado de Hidalgo, México.	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ciclo evolutivo de la <i>Apis mellifera</i> (en días)	29
Tabla 2.1 Variables utilizadas para calcular los índices tecnológicos del manejo del apiario en la Región Huasteca del estado de Hidalgo, México / <i>Variables used to calculate technological indices for apiary management in the Huasteca Region of the state of Hidalgo, Mexico</i>	64
Tabla 2.2 Manejo alimenticio en apiarios de la Huasteca del estado de Hidalgo, México / <i>Feeding management in apiaries in the Huasteca region of Hidalgo State, Mexico</i>	65
Tabla 2.3 Características de la unidad y proceso de producción de apiarios en la Huasteca del estado de Hidalgo, México / <i>Characteristics of the apiary unit and production process in the Huasteca region of Hidalgo State, Mexico</i>	65
Tabla 3.1 Comportamiento de <i>A. mellifera</i> <i>in vitro</i> tras la exposición al aceite esencial de <i>Origanum vulgare</i>	74
Tabla 3.2 Comportamiento de <i>A. mellifera</i> y <i>V. destructor</i> <i>in vitro</i> tras la exposición al aceite esencial e hidrolato de <i>Origanum vulgare</i>	74
Tabla 3.3 Tasas de supervivencia <i>in vitro</i> de <i>A. mellifera</i> y <i>V. destructor</i> tras la exposición a diferentes plantas aromáticas.	76
Tabla 3.4 Tasas de supervivencia <i>in vitro</i> de <i>A. mellifera</i> y <i>V. destructor</i> tras la exposición a aceite esencial de <i>O. vulgare</i> y a hidrolatos de <i>O. vulgare</i> , <i>P. albus</i> y <i>T. diversifolia</i>	78
Tabla 3.5 Tasas de supervivencia <i>in vitro</i> de abejas <i>A. mellifera</i> y de <i>Varroa destructor</i> tras la exposición a aceites esenciales de <i>O. vulgare</i> y <i>L. angustifolia</i> , e hidrolatos de <i>P. albus</i> , <i>T. diversifolia</i> , <i>R. sphaerocarpa</i> , <i>R. graveolens</i> , <i>L. angustifolia</i> y <i>O. vulgare</i>	80

INTRODUCCIÓN

En México la apicultura es una de las actividades de mayor relevancia por el impacto que tiene en el desarrollo sostenible. En muchas comunidades del país la apicultura representa una fuente de ingresos, alimento y mejoras para el medio ambiente (González, Vargas, Hernández, & Susano, 2025). Generalmente esta actividad se asocia únicamente con producción de miel, polen, jalea real, propóleos, no obstante, las abejas son fundamentales para un equilibrio del medio ambiente ya que propician la polinización cruzada con lo que se genera oxígeno, además, aumentan el rendimiento en los cultivos, lo que favorece un incremento en alimentos de origen vegetal, materia prima textil, e insumos agropecuarios (SADER, Situación actual y perspectiva de la apicultura en México., 2010). En México, cerca de 48 mil personas se dedican a la apicultura; en la última década se reportó una producción anual de miel de 59 mil toneladas (t) y en 2023, México ocupó el séptimo lugar en producción de miel a nivel mundial con 58 mil 33 t, siendo Yucatán, Campeche, Jalisco y Chiapas los estados con mayor producción, generando más del 40% de la producción de miel del país (INEGI, 2024). En Hidalgo, para el 2017 se tenía un inventario estatal de 25,281 colmenas, con una producción de 1,380 t de miel, con un valor en el mercado de 61.1 millones de pesos. La entidad cuenta con 675 productores y cerca de 36,676 colmenas que generan una producción anual de más de 300 t de miel al año, siendo la zona de la huasteca hidalguense la principal productora de miel a nivel estatal (González F., 2025).

Las dos especies de abejas más importantes para la apicultura son la abeja melífera occidental, *Apis mellifera*, y la abeja melífera oriental, *Apis cerana*. Son insectos sociales que viven en colmenas compuestas por una reina, varias obreras (todas hembras) y unos pocos zánganos. Las abejas al igual que todos los animales son susceptibles a enfermedades bacterianas, virales y parasitarias, las cuales afectan de manera importante la producción de miel y subproductos (OMSA, 2021). Una de las enfermedades de las abejas más importantes en México es la Varroasis, causada por Varroa destructor (Calderón , Ramírez, Ramírez, & Villalobos , 2014), ectoparásito de las abejas adultas y de sus crías que se alimentan de su hemolinfa, este comportamiento provoca un acortamiento de la duración de vida de estos insectos y un debilitamiento general de la colmena que conlleva a la muerte, los signos clínicos más notables que delatan la presencia de la patología, se manifiestan en una etapa avanzada; entre ellos se encuentran: alteraciones morfológicas de los adultos parasitados (alas vestigiales y deformadas, abdomen corto, tamaño corporal empequeñecido) la presencia del ácaro es visible a simple vista sobre los individuos adultos, afectando desde su etapa larvaria (Robles & Salvachúa, 2012)

El Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), ha implementado diversas acciones conforme la NOM-001-ZOO-1994, Campaña Nacional contra la Varroasis de las abejas, por medio de esta norma se realizan diagnósticos oportunos para conocer los niveles de infestación y tratamientos alternativos adecuados, se hace

difusión y se capacita de manera continua a los apicultores y técnicos profesionales en el ramo (SADER, 2021).

Los tratamientos más utilizados para esta enfermedad, que se consideran menos dañinos es el timol y el fluvalinato, debido a su alta eficiencia y fácil aplicación en las colmenas, sin embargo, el uso inadecuado o indiscriminado de estos acaricidas, han provocado que el ácaro desarrolle resistencia además de que estos productos químicos pueden contaminar la miel y la cera, dejando residuos que pueden afectar la salud de los consumidores, además de representar un aumento en los costos de producción (Calderón , Ramírez, Ramírez, & Villalobos , 2014). Por lo anterior, se ha establecido que el uso de productos naturales puede ser una estrategia de control integrado (Neira, Heinsohn, Carrillo, A., & Fuentealba, 2004), el método de defensa de las plantas ante plagas y agentes patógenos se basa en la producción de compuestos con actividad antimicrobiana (Aldás-Paredes, 2022), un ejemplo de ello es el timol que proviene de la planta *Thymus vulgaris* se ha convertido en un tratamiento acaricida de alta eficacia en contra de *V. destructor* por los compuestos fenólicos que este posee, reflejando una sinergia entre combinaciones de aceites esenciales a base de eucalipto, menta y alcanfor, con resultados superiores al 90 % de mortalidad de ácaros (Fuentes et. al., 2021). Lo anterior se debe a que por un lado, los aceites esenciales, obtenidos por extracción a través de corriente de vapor (destilación), de cualquier parte de una planta: hojas, flores, tallos, semillas o raíces, son productos naturales, líquidos volátiles, de agradable aroma, ópticamente activos, con punto de ebullición de 150 a 300 °C que se alteran fácilmente bajo la acción de la luz; y por otro, los hidrolatos, que son el residuo acuoso de la obtención de aceites esenciales, con propiedades terapéuticas similares, aunque en menor proporción, el mecanismo de acción terapéutica de los hidrolatos en varios estudios se ha demostrado que los obtenidos a partir de tomillo, albahaca, clavo, poseen propiedades antibacterianas y anti fúngicas, relacionadas con la inhibición y bloqueo de la síntesis de algunos componentes indispensables para los microorganismos, o bien evitan la fijación y colonización de virus en las células (Sitarek et. al., 2020).

Por lo anterior, existen una gama de plantas con actividad biológica, que, aunque en diferentes estudios se han utilizado en forma de extractos acuosos o a través de solventes polares o no polares, un ejemplo de ello son el orégano (*Origanum vulgare Labiatae*), planta aromática con actividad antioxidante, antimicrobiano, antiparasitario, estrogénico, insecticida y antígenotóxica (Arcila-Lozano et al., 2004); el Acahual (*Tithonia diversifolia*) es una planta herbácea y arbustiva robusta que muestra gran plasticidad ecológica, capaz de adaptarse a diversas condiciones, con actividad biológica capaz de bio-acumularse (Zepeda et al., 2019); la ruda (*Ruta graveolens*) es reconocida por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes, debido a que tiene alto contenido de metabolitos secundarios, como cumarinas, alcaloides, aceites volátiles, flavonoides y ácidos fenólicos, los cuales son responsables de diversos efectos biológicos (França-Orlanda et al., 2015; Pushpa et al., 2015) y *Dalbergia palo-escrito* de la cual se ha reportado que contiene flavonoides y esquiterpenos, con

actividad antioxidante, antibacteriana y anti-inflamatoria (Singh et al., 2017). Por lo anterior, en esta investigación se buscan alternativas naturales para combatir el ácaro Varroa destructor, sin afectar la inocuidad de la miel, ni la vida de las abejas.

JUSTIFICACIÓN

La varroasis, causada por *Varroa destructor*, representa uno de los principales problemas sanitarios en la apicultura mexicana, debido a su alta capacidad de reproducción, su efecto debilitante sobre las abejas y el riesgo de colapso total de las colmenas. Este parásito no solo afecta la productividad de miel y otros subproductos apícolas, sino que también compromete la polinización, un servicio ecosistémico esencial para la agricultura y la conservación de la biodiversidad. Por ello, su control eficiente es indispensable para garantizar la sostenibilidad de la actividad apícola y la seguridad alimentaria en el país.

Actualmente, los tratamientos más utilizados contra la varroasis incluyen acaricidas como el timol y el fluvalinato. Aunque efectivos, su uso indiscriminado ha generado preocupaciones crecientes: desarrollo de resistencia por parte del ácaro, presencia de residuos químicos en miel y cera, alteraciones en la calidad e inocuidad de los productos apícolas y aumento de los costos de producción para los apicultores. Estas limitaciones han impulsado la búsqueda de alternativas más seguras, accesibles y sostenibles.

En este contexto, los productos naturales derivados de plantas con actividad biológica representan una opción viable dentro del manejo integrado de plagas. Diversas especies, como *Origanum vulgare*, *Tithonia diversifolia*, *Ruta graveolens* y *Dalbergia palo-escrito*, han demostrado propiedades antimicrobianas, antiparasitarias y antioxidantes, atribuibles a sus metabolitos secundarios. Asimismo, el uso de aceites esenciales e hidrolatos ha mostrado eficacia frente a diversos patógenos y parásitos, sin generar residuos nocivos para la colmena ni para los consumidores.

Evaluar el potencial acaricida de extractos vegetales y sus hidrolatos ofrece la oportunidad de desarrollar tratamientos alternativos, económicos y ecológicamente responsables. Estas alternativas pueden disminuir la dependencia de compuestos sintéticos, reducir riesgos para la salud humana y para las abejas, e impulsar prácticas apícolas más sostenibles y adaptadas a las necesidades de pequeños y medianos productores.

Por lo anterior, esta investigación se justifica al buscar soluciones naturales y seguras para el manejo de *Varroa destructor*, contribuyendo al fortalecimiento de la apicultura mexicana, a la protección de las abejas y a la preservación de los servicios ecosistémicos que proveen.

OBJETIVO GENERAL

- Estudiar la prevalencia de *Varroa destructor* en apiarios de la Huasteca Hidalguense, con la finalidad de proponer alternativas naturales para combatirla.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la prevalencia de *Varroa destructor* en la Huasteca Hidalguense por medio de un muestreo representativo, para establecer los niveles de infestación en la zona.
- Identificar los diferentes tratamientos contra *Varroa destructor* empleados por los apicultores de la Huasteca Hidalguense mediante aplicación de encuestas.
- Determinar el efecto del aceite esencial e hidrolatos de diferentes plantas aromáticas sobre *Varroa destructor*, mediante pruebas in vitro para determinar la concentración necesaria para su aplicación
- Realizar estudio histológico de *Apis mellifera* y *Varroa destructor*, para reconocer qué órganos se ven afectados con la parasitosis.

HIPÓTESIS

La aplicación de aceite esencial o hidrolato de la planta con mejor respuesta in vitro sobre *Varroa destructor*, en el interior de las colmenas de abejas melíferas reduce la infestación, sin afectar la inocuidad de la miel.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1. Situación de la producción apícola.

1.1. Situación actual a nivel mundial.

La apicultura es una práctica muy antigua que se remonta a la prehistoria. Se cree que los primeros apicultores eran cazadores-recolectores, que recolectaban miel de colonias silvestres de abejas. Con el tiempo se comenzó a criar abejas en colmenas para obtener una fuente más estable de miel. Los egipcios fueron los primeros en desarrollar técnicas de apicultura avanzada al igual que la antigua Grecia y Roma donde también era común la apicultura. Apicultura proviene del latín Apis (abeja) y Cultura (cultivo), es decir, la ciencia que se dedica al cultivo de las abejas o a la cría de las abejas, actualmente se define como, “La ciencia aplicada que estudia la abeja melífera en donde mediante la utilización de la tecnología se obtienen beneficios económicos” (SADER, 2017; Correa & Guzmán-Nova, s.f.).

El aumento de la demanda de miel por los beneficios para la salud impulsará el mercado futuro debido al propósito medicinal y cosmético, lo que impulsará más el mercado de la apicultura. Europa y América del Norte tienen un consumo significativo de miel y sus derivados, mientras que se proyecta un rápido crecimiento en las regiones de Asia y el Pacífico, liderando el mercado apícola con una participación en 2018 del 42%, seguida de Europa, que es el segundo mayor productor después de China con 230,000 t de producción de miel y para el 2021, China se convierte nuevamente en el principal productor de miel en el mundo, generando alrededor de 473,000 t métricas, un volumen que representó más de una cuarta parte de la producción mundial durante este año. Durante la última década, ha aumentado el número de colmenas en todo el mundo, se ha pasado de una cantidad inferior a los 81 millones en 2010 a aproximadamente 102 millones en 2021; El tamaño del mercado global de la miel se situó en torno a los 8.5 millones de dólares estadounidenses en 2022 y se estima que supere los 12.600 millones para 2029 (Portal Apícola, 2023) (Katsarova, 2025).

Considerando que la agricultura constituye uno de los pilares fundamentales de la economía en prácticamente todos los contextos productivos. En este marco, la apicultura se ha consolidado como una actividad estratégica, no solo por la obtención de productos como miel, cera, polen y propóleos, sino también por el papel esencial que desempeñan las abejas melíferas en los procesos de polinización (Baena Díaz & Chévez, 2022). Su participación contribuye de manera significativa al rendimiento y calidad de numerosos cultivos, lo que evidencia su relevancia dentro de los sistemas agrícolas.

A escala global, el reconocimiento de la importancia ecológica y productiva de los polinizadores ha incrementado el interés por fortalecer las acciones dirigidas a su conservación. Este impulso ha sido especialmente notable en regiones como Norteamérica y Europa, donde la apicultura es valorada tanto por los servicios ecosistémicos que proporciona (en particular la polinización), como por su aporte directo a las cadenas agroalimentarias mediante la producción de bienes apícolas (SADER, 2010).

De acuerdo con reportes de organismos internacionales, la actividad apícola se desarrolla en prácticamente todas las regiones del planeta. Aunque su presencia es global, las zonas con mayor producción se concentran principalmente en Asia, Europa y América. El consumo de productos apícolas, por su parte, muestra una variabilidad considerable entre países, influenciado por factores culturales, hábitos alimentarios y preferencias locales. (FAO, 2020). (Fig. 1).

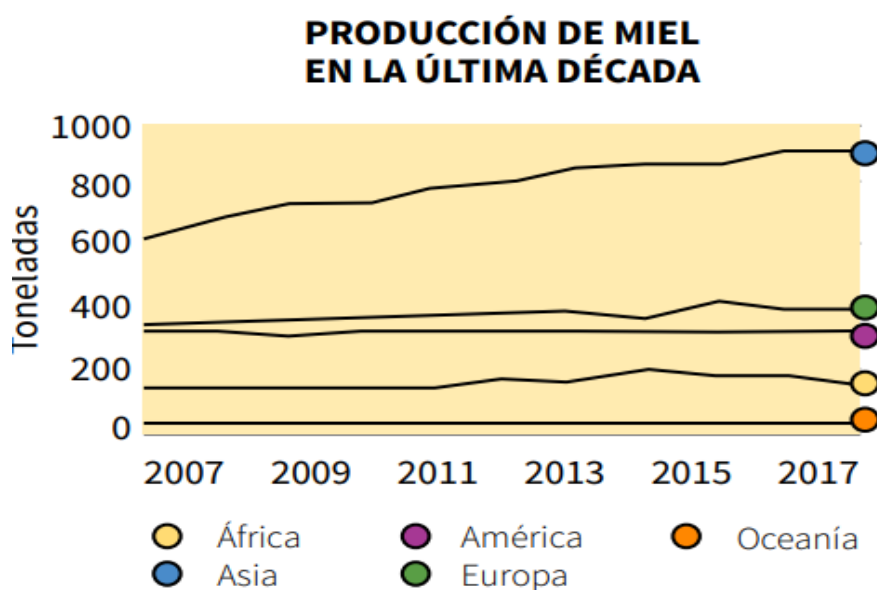


Figura 1 Producción de miel por continente.

Obtenido de: FAOSTAT, 2017.

Los cinco principales países productores de miel de abeja son:

- China (30.6 %)
- Turquía (6.9 %)
- Estados Unidos de América (5.4 %)
- Irán (5.0 %)
- Rusia (5.0 %)

Los cuales aportan cerca del 53 % de la producción total mundial (Chan Chi & Caamal Cauich, 2018).

1.2. Situación actual a nivel nacional.

La apicultura en México es una actividad que se ha practicado desde épocas prehispánicas por pobladores mayas, quienes cultivaron diversas variedades de abejas nativas de los géneros *Trigona* y *Melipona*, dentro de las cuales destacó la especie *Melipona beecheii* Bennett, cuya característica principal es la falta de aguijón, condición que la diferencia de las abejas *Apis mellifera*. La introducción de las abejas *Apis mellifera* a México fue a finales del siglo XIX o principios del XX al estado de Yucatán, empleándose colmenas Dadant, lo que generó un gran auge de la apicultura en el poblado de Izamal, iniciando así las exportaciones de miel a través del surgimiento de algunas sociedades apícolas (Espinosa, 2021). Esta actividad fue creciendo en México gracias a las cantidades importantes de producción y exportación de miel, lo que permitió que el país se ubicara en lugares preponderantes en ambos rubros a nivel mundial, no obstante, en 1992 la llegada del acaro ectoparásito de las abejas melíferas *Varroa destructor* (antes conocido como *Varroa jacobsoni*), traería repercusiones negativas para la apicultura en el país. Esta situación motivó la creación de la Campaña Nacional Contra la Varroasis de las Abejas, oficializándose en 1992 en el Diario Oficial de la Federación (DOF) y para el 28 de abril de 1994 se publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ZOO-1994, Campaña Nacional contra la Varroasis de las Abejas en el DOF, la cual señala que todos los productos acaricidas para el diagnóstico, tratamiento y control de la varroasis, deberán ser aprobadas por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural para su aplicación (DOF, 1998).

Actualmente en México la apicultura es una de las actividades de mayor relevancia por el impacto que tiene en el desarrollo sostenible. Para muchas comunidades del país la apicultura representa una fuente de ingresos, alimento y mejoras para el medio ambiente (González, Vargas, Hernández, & Susano, 2025). Las abejas son fundamentales para un equilibrio del medio ambiente ya que propician la polinización cruzada con lo que se genera oxígeno, además, aumentan el rendimiento en los cultivos, lo que favorece un incremento en alimentos de origen vegetal, materia prima textil, e insumos agropecuarios (SADER, 2010). En México, cerca de 48 mil personas se dedican a la apicultura; en la última década se reportó una producción anual de miel de 59 mil toneladas (t) y en 2023, México ocupó el séptimo lugar en producción de miel a nivel mundial con 58 mil 33 t, siendo Yucatán, Campeche, Jalisco y Chiapas los estados con mayor producción, generando más del 40% de la producción de miel del país (INEGI, 2024). Si bien México se ha situado entre los primeros lugares de producción de miel en el mundo, también se ha consolidado entre los primeros exportadores a nivel mundial y cuenta con cinco regiones muy definidas que son la Región Norte, Región de la Costa del Pacífico, Región del Golfo, Región del Altiplano Y la Región Sureste. Cada

una produce una clase de miel diferente (INAES, 2018). Aunque el primer destino de las exportaciones mexicanas de miel es Alemania, con 15.3%, según cifras del 2017, también se exportan grandes cantidades a Estados Unidos y Japón, sin embargo, la mitad de la producción anual se consume a nivel nacional, siendo el consumo per cápita de alrededor de 300 g (Espinosa, 2021).

La apicultura es una actividad de suma importancia debido a su impacto que esta tiene en el desarrollo sostenible. En México se tienen registradas 2,172,107 colmenas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020) y se identifica la presencia, en mayor o menor grado, de producción apícola en los 32 estados de la República Mexicana (Baena Díaz & Chévez, 2022).

Las condiciones geográficas de México, junto con su amplia diversidad de flora y climática, permiten el desarrollo de distintos tipos de producción apícola. Esta variabilidad se refleja en las características fisicoquímicas y sensoriales de la miel (como humedad, color, aroma y sabor), las cuales pueden diferir notablemente entre regiones (SADER, 2010).

La heterogeneidad de los ecosistemas y las particularidades socioeconómicas de los productores han dado lugar a dos modalidades principales de práctica apícola. La primera es la apicultura fija o sedentaria, en la que las colmenas permanecen en un solo sitio durante todo el ciclo productivo. La segunda es la apicultura de trashumancia o móvil, que implica el traslado de los apiarios a diferentes áreas en función de la disponibilidad y estacionalidad de las floraciones melíferas que resultan estratégicas para el apicultor (Baena Díaz & Chévez, 2022).

La apicultura en todo el mundo enfrenta, cada vez con mayor intensidad, el desafío de sostener la productividad de los apiarios. Este fenómeno se relaciona con el deterioro progresivo de los ecosistemas, cuyas alteraciones modifican la disponibilidad y continuidad de los recursos florales necesarios para el pecoreo. La actividad apícola en México se ve igualmente condicionada por estos procesos, lo que repercute en la estabilidad y rendimiento de las colonias (SADER, 2010).

En el contexto nacional, la apicultura se encuentra inmersa en un entorno caracterizado por múltiples retos y oportunidades, muchos de ellos asociados a las crecientes demandas de los mercados interno y externo. Esta actividad constituye, además, una fuente económica esencial para numerosos productores, generando aproximadamente 100 mil empleos directos (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020)

A nivel productivo, México reporta un volumen anual cercano a las 58,033 toneladas de miel, lo que sitúa al país en el séptimo lugar mundial en términos de producción. Dentro del territorio nacional, las entidades con mayor aportación son Yucatán, con alrededor de 9,451

toneladas; Chiapas, con 5,892 toneladas; y Jalisco, con 5,806 toneladas anuales (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Yucatán, 2024).

La ubicación de las regiones con mayor producción de miel está estrechamente relacionada con los tipos de floración disponibles. Por ejemplo, en las zonas citrícolas predominan las mieles de azahar, mientras que en el altiplano mexicano es común la llamada miel mantequilla, donde además suele concentrarse un mayor número de colonias. Esta variación genera una distribución espacial desigual de las colmenas, ya que los apicultores suelen preferir áreas con floraciones específicas que elevan el valor comercial de la miel. Como resultado, algunas regiones presentan altas densidades de abejas, mientras que otras permanecen poco aprovechadas (Baena Díaz & Chévez, 2022).

1.3. Situación actual en el estado de Hidalgo.

Debido a los diferentes climas y floraciones que existen en México, se registran diversos grados de desarrollo de los apicultores con gran variedad en su producción de mieles en cuanto a sus características de humedad, color, aroma y sabor. La Región del altiplano se compone de los estados de Tlaxcala, Puebla, Morelos, Guanajuato, Aguascalientes, Estado de México; la parte oriente de los estados de Jalisco, Colima y Michoacán; el norte de los estados de Guerrero y Oaxaca; el noreste de Chiapas; regiones suroeste de Hidalgo y Querétaro; la región media de San Luis Potosí; así como las delegaciones rurales de la Ciudad de México. Esta región representa, en promedio el 29.8 % de la producción nacional y se distingue por tener mieles de color ámbar claro, además de algunas mieles llamadas miel mantequilla derivado de su consistencia, con una marcada demanda en el mercado europeo (Espinosa, 2021) (AGRICULTURA, Producción de Miel en México, 2024).

Si bien el estado de Hidalgo no es una de las entidades líderes en la producción de miel o cera, posee regiones donde la apicultura es una práctica con volúmenes de producción sobresalientes, particularmente en la región huasteca (Reyes, 2013).

En el 2016 a nivel nacional el estado de Hidalgo ocupaba el primer lugar en reconocimiento de apiarios con el reconocimiento como productores confiables de miel inocua con 212 apiarios reconocidos en buenas prácticas de producción de miel, registrando más de nueve mil colmenas con una producción de más de 300 t de miel al año lo cual equivale a 9 millones 720 mil pesos (AGRICULTURA, 2016).

Para el 2017 se tenía un inventario estatal de 25,281 colmenas, con una producción de 1,380 t de miel, con un valor en el mercado de 61.1 millones de pesos. La entidad cuenta con 675 productores y cerca de 36,676 colmenas que generan una producción anual de más de 300 t de miel al año, siendo la zona de la huasteca hidalguense la principal productora de miel a

nivel estatal (González F. , 2025), ya que en esta región se ubican 8,343 colmenas (39% de la producción estatal), esto debido a sus condiciones climáticas favorables y variada vegetación néctar-polinífera (Vargas , García, & Hernández, 2009).

La actividad apícola en el estado de Hidalgo posee una larga trayectoria histórica, cuya consolidación puede rastrearse hasta mediados del siglo XVIII, periodo en el que la miel y la cera ya constituían productos de intercambio regional en Huejutla y zonas circundantes. En la actualidad, esta práctica se mantiene como un componente relevante del sector agropecuario estatal y es desarrollada por aproximadamente un millar de productores (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2023).

La zona apícola de mayor relevancia se ubica precisamente en la Huasteca hidalguense, donde municipios como Huejutla, San Felipe Orizatlán, Jaltocán, Atlapexco, Huautla, Xochiatipan, Yahualica y Huazalingo, conforman un corredor productivo estratégico. En estas localidades, la apicultura representa una de las principales fuentes de ingresos para las familias rurales, funcionando como un eje económico fundamental que contribuye tanto al bienestar social como a la permanencia de las prácticas tradicionales (Reyes Sámano, 2024).

2. Importancia de la producción apícola.

En la actualidad, la apicultura tiene una gran importancia social y económica, pues constituye una fuente relevante de trabajo y de ingresos para las comunidades rurales (Magaña Magaña & Tavera Cortés, 2016). Es importante destacar que las abejas melíferas son cruciales para la polinización de cultivos y especies silvestres, contribuyendo al mantenimiento de ecosistemas. Desde una perspectiva sanitaria y biotecnológica, los productos apícolas poseen propiedades funcionales de interés en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética (FAO, 2020). Nuestro país cuenta con cinco regiones productivas que son:

- Región Norte: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Durango, Zacatecas, Coahuila, Nuevo León y partes del norte de Tamaulipas y del altiplano de San Luis Potosí.
- Región de la Costa del Pacífico: Sinaloa, Nayarit, poniente de los estados de Jalisco y Michoacán, Colima, así como las regiones costeras de los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas.
- Región del Golfo: Veracruz y parte de los estados de Tabasco, Tamaulipas y la región Huasteca de San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro.

- Región del Altiplano: Tlaxcala, Puebla, Morelos, Guanajuato, Aguascalientes, Estado de México, la parte oriente de los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas; parte poniente de Hidalgo y Querétaro; la región media de San Luis Potosí, así como las delegaciones rurales de la Ciudad de México.
- Región Sureste: Península de Yucatán, y parte de los estados de Chiapas (Noreste) y Tabasco (Oriente), es la más importante en cuanto a volumen de producción de miel y por ubicar a la mayor parte de las colmenas del país. Está conformada por los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo (AGRICULTURA, 2019).

Representados en la Figura 2:



Figura 2 Regiones apícolas de México.

Obtenido de: [https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2020/octubre/14PANVarroasis03-06-20\(003\)_5973a659-afba-44ca-9784-a3f123c30121_5973a659-afba-44ca-9784-a3f123c30121.pdf](https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2020/octubre/14PANVarroasis03-06-20(003)_5973a659-afba-44ca-9784-a3f123c30121_5973a659-afba-44ca-9784-a3f123c30121.pdf)

3. Factores que afectan la producción apícola.

3.1. Sociales.

La vulnerabilidad en la producción apícola, implica la exposición desigual de una población humana a ciertas amenazas, la capacidad diferencial para afrontarlas y el potencial para superarlas. La dimensión estructural de las vulnerabilidades se refiere a la combinación de factores históricos e institucionales y relaciones de poder que recrean las inequidades socioeconómicas y hacen que algunos individuos y grupos sean más susceptibles que otros a los desastres. La vulnerabilidad abarca todas las características de los individuos y grupos en

cuanto a su capacidad para anticipar, afrontar y recuperarse de los impactos de las amenazas ambientales (Lazos-Chavero et al., 2022).

Si consideramos las desigualdades sociales como el eje de la vulnerabilidad, resulta necesario explorar los orígenes de las sociedades del riesgo en las rupturas históricas entre las relaciones socio ambientales y la capacidad del Estado para gestionar los riesgos colectivos generados en las sociedades contemporáneas. Esto nos lleva a reconsiderar la vulnerabilidad no solo en términos biofísicos, sino también en relación con las inequidades sociales y políticas (Beck, 1992; Lazos-Chavero et al., 2012; Giddens, 1999)

3.2.Productivos.

La actividad apícola ha experimentado múltiples presiones que comprometen su estabilidad productiva. Entre los principales factores adversos se encuentran el proceso de africanización de las colonias, la infestación por el ácaro *Varroa destructor*, la escasez de agua y los daños recurrentes ocasionados por huracanes sobre la infraestructura productiva y la vegetación (FAO, 2020).

3.3. Tecnológicos.

La apicultura enfrenta actualmente diversos desafíos, entre ellos el envejecimiento de los productores, la baja participación de jóvenes y mujeres, y la limitada adopción de nuevas tecnologías en las unidades de producción. Estos factores comprometen la productividad y competitividad del sector. Además, la capacitación continua de los apicultores se vuelve un elemento clave para evitar el rezago y asegurar su permanencia en la actividad. Por ello, es fundamental identificar las áreas que requieren fortalecimiento y las necesidades de formación y modernización tecnológica, con el propósito de impulsar estrategias de innovación que mejoren el desempeño de los productores. (Sánchez Gómez & Vázquez Alfaro, 2022).

3.4. Ambientales.

El cambio climático ha generado alteraciones profundas en la fenología vegetal, modificando la temporalidad y el ritmo de desarrollo de las floraciones. Estos cambios repercuten directamente en la disponibilidad, composición y calidad del néctar, un recurso fundamental para el mantenimiento y la productividad de las colonias de abejas (Sánchez-Bayo, 2016). El cambio climático se manifiesta a través del deshielo de los glaciares, el incremento del nivel del mar y la mayor frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos, como huracanes, precipitaciones intensas, heladas y periodos prolongados de sequía. Estos fenómenos afectan a los organismos y ecosistemas en general, y la apicultura no es la excepción. Las alteraciones en la disponibilidad de agua y alimentos, así como las variaciones en las condiciones ambientales, pueden obligar a las abejas a desplazarse en busca de hábitats

con características más favorables para su desarrollo, comprometiendo la estabilidad de las colonias y la continuidad de la actividad apícola (Magaña Magaña & Tavera Cortés, 2016).

La deforestación de zonas selváticas impulsada principalmente por la expansión de las actividades agrícolas y ganaderas ha reducido de manera significativa la cobertura vegetal nativa. Esta pérdida de hábitats afecta la diversidad, distribución y abundancia de especies melíferas, limitando las fuentes de alimento y comprometiendo la estabilidad de los ecosistemas donde se desarrolla la actividad apícola. En conjunto, estos factores generan presiones ambientales que repercuten de manera directa en la productividad, resiliencia y sostenibilidad de la apicultura en diferentes regiones. (Marín Gutiérrez & Magaña Magaña, 2025).

Diversos elementos han sido señalados como posibles detonantes del colapso de colonias de abejas; entre ellos, la exposición a plaguicidas se reconoce como uno de los factores de mayor relevancia. La manera en que las abejas pueden entrar en contacto con estos compuestos es durante la recolección de néctar y polen, especialmente cuando las colmenas se encuentran próximas a unidades de producción agrícola (Vargas Valero & Reyes Carrillo, 2020). Se ha documentado que concentraciones subletales de plaguicidas son capaces de alterar múltiples aspectos de la biología y el comportamiento de las abejas, incluyendo patrones de vuelo y orientación, la eficiencia de pecoreo, la longevidad, así como procesos de aprendizaje olfativo (Sánchez-Bayo, 2016).

La contaminación de las colmenas puede facilitar la transferencia de residuos hacia la miel almacenada, lo que constituye un riesgo potencial también para los consumidores (Sánchez-Bayo, 2016).

4. Generalidades de *Apis mellifera*.

El orden *Hymenoptera* constituye uno de los grupos más diversos dentro de los insectos, con aproximadamente 153,000 especies descritas, además de más de 2,000 especies fósiles registradas (Ilyasov & Lee, 2020). Su nombre deriva del griego *hymen* (membrana) y *pteron* (ala), en referencia a sus alas membranosas, entre las cuales el par posterior es de menor tamaño. Las alas anteriores y posteriores permanecen unidas durante el vuelo mediante una serie de diminutos ganchos denominados hámulos (hamuli), estructura característica de este grupo de animales (González Gómez, 2019).

Las piezas bucales presentan variación funcional según la línea evolutiva; pueden ser de tipo masticador o lamedor. En insectos como las abejas, el labio y las maxilas se modifican para formar una lengua especializada que facilita la ingestión de líquidos, particularmente néctar (González Gómez, 2019).

4.1. Clasificación taxonómica:

Reino	Animal
Phylum	Artropoda
Subreino	metazooario
Subphylum	mandibulata
Orden	hymenoptera
Suborde	apocrita
Clase	Insecta
Subclase	<i>pterygota</i>
Superfamilia	<i>Apoidea</i>
Familia	<i>Apidae</i>
Subfamilia	<i>Apinae</i>
Tribu	<i>Apini</i>
Género	<i>Apis</i>
Especie	<i>mellifera</i>

De la *Apis mellifera* se conocen varias: *Apis mellifera scutellata* (también conocida como abeja africana), *Apis mellifera* o alemana, *Apis mellifera ligustica* o italiana, *Apis mellifera caucasica* o caucasiana, y *Apis mellifera carnica* o carniola (Vázquez , Ortega , Martínez , & Maldonado , 2012) (Garduño, 1993).

4.2. Jerarquización de las abejas.

Las abejas melíferas son insectos sociales, lo que significa que viven jutas en grupos familiares grandes o bien organizados. Algunos de los comportamientos de las abejas son la comunicación, construcción de nidos complejos, control ambiental, defensa y división del trabajo. Una colonia de abejas melíferas generalmente consta de tres tipos de abejas adultas: obreras, zánganos y una reina.

4.3. Reina.

Cada colonia tiene una sola reina, excepto durante el periodo después de los preparativos del enjambre o la sustitución. Debido a que es la única hembra sexualmente desarrollada, su función principal es la reproducción, pueden poner hasta 1,500 huevos por día durante el pico

de ovoposición y puede producir hasta 250,000 huevos por año y posiblemente más de un millón en su vida.

4.4. Zánganos.

Los zánganos o abejas macho son las más grandes de la colonia, no tienen aguijón, cestas de polen ni glándulas de cera. Su función principal es fertilizar a la reina durante su vuelo de apareamiento. Los zánganos maduran sexualmente una semana después de emerger y mueren posterior al apareamiento.

4.5. Obreras.

Son las abejas más pequeñas y constituyen la mayoría de las abejas que ocupan la colonia. Las obreras tienen estructuras anatómicas especializadas como glándulas de cera y cestas de polen, que les permite realizar todas las labores de la colmena. Durante sus primeras semanas como adultas se encargan de la limpieza, alimentación de la cría, cuidado de la reina, eliminación de escombros, manipulan el néctar entrante y construyen panales de cera; más tarde como abejas de campo, buscan néctar, pole, agua y propóleos (salvia de plantas) (MAAREC, 2014).

La abeja europea (*Apis mellifera*) (Fig. 3), es también conocida como abeja doméstica o abeja melífera. Es una especie de himenóptero de la familia *Apidae*. Esta especie es originaria de los continentes Europeo, Africano y Asiático (INaturalist, 2024).

Hymenoptera posee una distribución cosmopolita, debido a la amplia diversidad de climas y hábitats en el mundo, estando presente en prácticamente todos los ecosistemas del planeta. Las especies del orden habitan desde regiones subárticas hasta zonas tropicales, y pueden establecerse tanto en ambientes desérticos como en áreas de alta humedad, alcanzando incluso altas altitudes. Esta amplia capacidad de adaptación contribuye a su notable diversidad ecológica y funcional (FAO, 2020).



Figura 3 *Apis mellifera* sp

Obtenido de: https://www.inaturalist.org/guide_taxa/2466560.

En África se distribuyen 11 subespecies, en Asia occidental y Oriente Medio 9 subespecies y en Europa 13 subespecies (Ilyasov & Lee, 2020).

En la actualidad, la apicultura en México es realizada principalmente con abejas africanizadas y diversas subespecies de abejas europeas que fueron introducidas al territorio nacional, tales como *Apis mellifera mellifera* y *Apis mellifera ligústica* (Gómez Leyva & Argüello Nájera, 2021).

5. Anatomía y fisiología de la *A. mellifera*.

5.1. Anatomía Externa.

El cuerpo de las abejas (Fig. 4), como el de todo insecto adulto, está dividido en tres partes: cabeza, tórax y abdomen. En la cabeza están localizados lateralmente dos grandes ojos compuestos, tres óleos u ojos simples en la parte central y superior de la cabeza, dos antenas y el aparato bucal (lengua y mandíbula). El aparato bucal le sirve para manipular materiales solidos (polen, cera, propóleos, etc.) y para succionar líquidos. Consta de un par de mandíbulas y la probocis (la conforman la lengua, maxilas, el labio y el flagelo). En la parte del tórax se encuentran tres segmentos de los cuales se inserta el aparato locomotor de la abeja (dos pares de alas y tres pares de patas). Que cumplen funciones de desplazamiento, transporte de polen y propóleos, aseo personal y de la colonia, moldeo de cera, etc. El abdomen está compuesto por siete segmentos visibles y dos segmentos internos modificados, asociados con el aguijón de las obreras y los órganos reproductivos de la reina y del zángano. Este conjunto anatómico externo demuestra una elevada adaptación funcional: las abejas

están equipadas para volar, recolectar, defenderse y comunicarse dentro de un contexto social complejo (ASU, 2018) (Bee Healt, 2019).

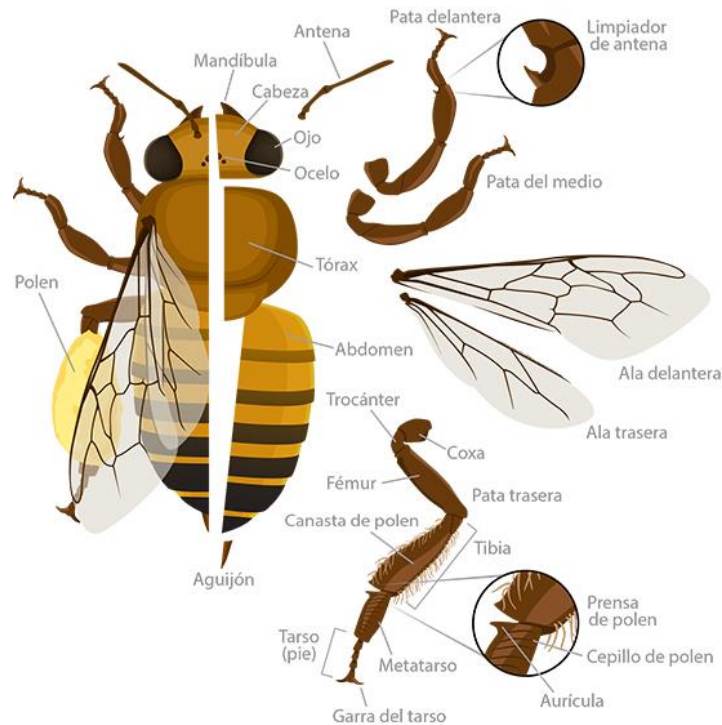


Figura 4 Anatomía externa de la abeja.

Obtenido de: ASU, 2018

5.2. Anatomía Interna.

Sistema nervioso y sensorial: la cabeza contiene un cerebro derivado de ganglios cerebrales, conectado a un ganglio subesofágico y una cadena nerviosa ventral que inerva antenas, ojos y piezas bucales. Sistema digestivo y circulatorio: internamente, la probóscide está conectada a un sistema digestivo adaptado para procesar néctar y polen. El alimento se almacena en el estómago de miel (pezón), donde se inicia el proceso de transformación en miel. El sistema circulatorio abierto consiste en un corazón dorsal tubular que impulsa la hemolinfa a través del cuerpo. Glándulas especializadas: en el abdomen se localizan glándulas cereras (en los segmentos esternales 4 al 7) responsables de la producción de cera para la construcción de panales. Además, las glándulas de Nasonov liberan feromonas de orientación y cohesión social desde el último tergito abdominal. Órganos reproductores: en castas específicas, como la reina, el abdomen contiene ovarios altamente desarrollados, espermateca para almacenar espermatozoides y glándulas productoras de feromonas reguladoras que controlan el comportamiento de obreras y zánganos en la colonia. Estas estructuras internas operan como un sistema integrado que sustenta funciones vitales: alimentación, construcción, comunicación, defensa

y reproducción, todo regulado por una coordinación neural, endocrina y social refinada (ASU, 2018) (Bee Healt, 2019) .

6. Ciclo biológico.

Las abejas presentan tres castas, reina, zángano y obreras, las cuales pasan por las diferentes fases de desarrollo: huevo, larva, pupa, adulto, este periodo de desarrollo se define como ciclo evolutivo.

Tabla 1.1 Ciclo evolutivo de la *Apis mellifera* (en días)

Fases	Reina	Obrera	Zángano
Huevo	3.0	3.0	3.0
Larva	5.0	6.0	6.5
Pupa	7.0	12.0	14.5
Adulto	15.0	21.0	24

Fuente: (Mistroni, 2007)

Las larvas de las abejas melíferas eclosionan de los huevos en tres o cuatro días. Luego son alimentados por las obreras y se desarrollan a través de varias etapas en las celdas, las obreras cubren las celdas cuando la larva se convierte en pupa. El desarrollo desde huevo hasta abeja emergente varía entre reinas, obreras y zánganos. Las reinas emergen entre 15 a 16 días, las obreras en 21 días y los zánganos en 24 días. Por lo general solo hay una reina en la colmena, cuando la reina existente envejece o muere o la colonia se vuelve muy grande las obreras crían una nueva reina. Una reina fértil puede ovipositar huevos fertilizados o no fertilizados. Cada ovulo no fertilizados contiene una combinación única del 50% de los genes de la reina y se convierte en un zángano (haploide). Los huevos fertilizados se convierten en obreras (diploides) o reinas (si se alimentan exclusivamente con jalea real). La esperanza de vida promedio de una reina es de tres a cuatro años, los zánganos suelen morir al aparearse o son expulsados de la colmena antes del invierno; las obreras pueden vivir unas pocas semanas en veranos y varios meses en zonas con un invierno prolongado (Academia Lab, 2025).

7. Patologías que afectan a la *A. mellifera*.

7.1. Loque americana.

La Loque americana es una enfermedad bacteriana causada por *Paenibacillus larvae*, que afecta exclusivamente a las larvas de abejas melíferas (*Apis mellifera*), se caracteriza por la descomposición de las crías dentro de las celdas del panal, generando un olor fétido y escamas oscuras adheridas a las celdillas. Aunque solo infecta a las crías, puede provocar la muerte total de la colonia en apenas tres semanas. Esta patología es altamente contagiosa

debido a la resistencia de sus esporas, que pueden permanecer viables durante décadas en la miel, cera o material apícola (Campa et al., 2024). Las abejas nodrizas alimentan a las larvas con alimento que puede contener estas esporas, las cuales germinan y destruyen el tejido larval, generando un olor fétido característico. El diagnóstico se realiza mediante inspección visual, pruebas rápidas, análisis de laboratorio y técnicas como la prueba del palillo. El control más efectivo es la eliminación total mediante quema de abejas y equipo infectado, aunque también se puede recurrir a irradiación con gamma o desinfección química. La prevención incluye prácticas de manejo sanitario, rotación de panales, uso de equipo nuevo o esterilizado, y monitoreo constante para evitar brotes y proteger la salud del apiario (López-Uribe & Underwood Robyn, 2023).

7.2. Loque europea.

La Loque europea es una enfermedad bacteriana que afecta a las larvas jóvenes de abejas melíferas (*Apis mellifera*), causada por *Melissococcus plutonius*. Se le conoce también como Loque benigna, cría agria o cría rancia. A diferencia de la Loque americana, esta patología no forma esporas resistentes, lo que la hace menos persistente pero igualmente peligrosa en condiciones de estrés o debilidad de la colonia (Mallory et al., 2024). Las larvas infectadas mueren antes de ser operculadas, presentando un aspecto retorcido, coloración amarillenta o marrón, y una consistencia acuosa o pegajosa. Las larvas infectadas mueren antes de ser operculadas, presentando una coloración que varía del blanco al marrón oscuro, una forma retorcida en “C” y un olor agrio característico. A diferencia de la Loque americana, no se forman escamas adheridas ni se observa la típica reacción positiva en la prueba del palillo. El diagnóstico se realiza mediante inspección visual y análisis microbiológicos, y puede complicarse por la presencia de bacterias secundarias como *Paenibacillus alvei*. El tratamiento incluye la mejora de las condiciones sanitarias del apiario, eliminación de panales afectados y, en casos graves, el uso controlado de antibióticos como la oxitetraciclina, evitando su aplicación durante floraciones para no contaminar la miel. Las medidas preventivas recomendadas incluyen el manejo higiénico, la renovación periódica de cera, el uso de reinas con comportamiento higiénico y el monitoreo constante de las colmenas para evitar brotes y preservar la sanidad apícola (Alvarado et al., 2012).

7.3. Cría de cal.

La cría de cal, o ascosferosis, es una enfermedad ocasionada por el hongo *Ascosphaera apis*, que al esporular en las larvas de abejas melíferas (*Apis mellifera*) provoca su momificación. Este patógeno invade el sistema digestivo de las larvas, especialmente en condiciones de alta humedad y baja ventilación, provocando su muerte y momificación en forma de masas blancas o grises similares a trozos de cal, de ahí su nombre. A la inspección visual se identifican larvas infladas, con aspecto algodonoso, que posteriormente se endurecen y

adquieren una coloración blanca o grisácea, adhiriéndose a las paredes de las celdillas (Medina-Flores et al., 2022). El comportamiento higiénico de las abejas, su capacidad para detectar y remover cría enferma ayuda a reducir la incidencia, factores como la temperatura ambiental, la altitud y el grado de africanización de las colonias también influyen en la resistencia frente a la cría de cal (Tapia-González et al., 2021).

7.4. Cría de piedra.

También conocida como Cría pétrea, Aspergilosis o Cría de piedra, es una enfermedad fúngica poco común pero potencialmente dañina que afecta a las larvas de abejas melíferas (*Apis mellifera*), causada principalmente por el hongo *Aspergillus flavus* y en ocasiones por el *Aspergillus fumigatus*. Este patógeno invade el cuerpo larval, provocando su muerte y momificación en forma de masas duras con aspecto pétreo, de ahí el nombre de la enfermedad. Bajo ciertas condiciones es capaz de causar enfermedades respiratorias o intoxicaciones en el hombre (Alvarado et al., 2012). Las larvas infectadas presentan coloraciones blancas, amarillas o verdosas, y suelen encontrarse adheridas al fondo de las celdillas, lo que dificulta su remoción por las abejas limpiadoras. En casos graves, las abejas adultas también pueden verse afectadas, y existe riesgo de contaminación por aflatoxinas, lo que compromete la seguridad de la miel para consumo humano. El diagnóstico a nivel de campo se basa en la observación del cuadro clínico, crías momificadas con textura rígida y color verdoso. Cabe destacar que, para diferenciar la enfermedad de cría de cal, las “momias” son oscuras y con la consistencia de una piedra; además al agitar el panal no se produce ningún sonido ya que las crías enfermas están fuertemente adheridas a la base de las celdillas y puede confirmarse mediante análisis microscópico de los conidióforos del hongo (Pasos et al., 2025).

7.5. Nosemosis.

También conocida como nosemiasis o enfermedad de la separación espontánea, es una parasitosis infecciosa del tracto digestivo de las abejas adultas causada por dos especies de hongos de la Clase *Microsporidia* del género *Nosema*. Estos hongos son parásitos intracelulares obligados, cuya forma vegetativa no puede vivir ni reproducirse fuera de las células epiteliales del tubo digestivo de las abejas. La enfermedad es altamente contagiosa y los daños que ocasiona pueden ser graves solo cuando el nivel de infección en las abejas es elevado. En esos casos, la enfermedad se caracteriza por el debilitamiento y muerte prematura de las abejas que la padecen (Ostap-Chec et al., 2024). Cuando las abejas no pueden salir de su colmena por varias semanas o meses, se ven obligadas a defecar sobre los panales contaminándolos con esporas cuando están enfermas. Los signos suelen presentarse cuando el problema ya es serio, éstos son similares a los de la acariosis, con la adición de que las

reinas enfermas son reemplazadas por las abejas. Fuera de este cuadro inespecífico, no hay manifestaciones clínicas que permitan su diagnóstico en campo (Alvarado et al., 2012).

7.6. Acariosis.

La acariosis traqueal, es una parasitosis interna causada por el ácaro *Acarapis woodi*, un parásito microscópico que entra, vive y se reproduce principalmente en la gran tráquea protorácica de todas las abejas, alimentándose de la hemolinfa de su hospedador (García-Figueroa & Arechavaleta-Velasco, 2018). A veces se encuentran también en los sacos aéreos de la cabeza, tórax y abdomen. Las alteraciones patógenas en las abejas individuales dependen del número de ácaros que haya en la tráquea y se deben tanto a los daños mecánicos como a las disfunciones fisiológicas derivadas de la obstrucción de los conductos aéreos, las lesiones en las paredes traqueales y el descenso de la hemolinfa. A medida que aumenta la población de parásitos, las paredes traqueales, que normalmente son blancas y traslúcidas, se vuelven opacas y descoloridas con manchas eruptivas negras, probablemente debidas a incrustaciones de melanina (Alvarado et al., 2012).

7.7. Varroa destructor.

La apicultura enfrenta diversos problemas referentes a temas de plagas y enfermedades que comprometen el desarrollo de la actividad apícola. Entre ellos se encuentra la varroosis, la cual es una enfermedad causada por un ectoparásito *Varroa destructor*, que se alimenta de la hemolinfa de las abejas, este parásito afecta tanto a las larvas como a las abejas adultas (especies del género *Apis*) (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2021).

Existe más de 20 virus conocidos identificados en las abejas melíferas, y se ha demostrado que *V. destructor* puede actuar como vector del virus del ala deformada (DWV), el virus de la parálisis aguda de las abejas (ABPV), el virus de la abeja de Cachemira (KBV) y el virus de la parálisis aguda israelí (IAPV), entre otros (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2021).

Varroa destructor es un ácaro estrechamente relacionado con las arañas y garrapatas, que vive como parásito externo en las abejas alimentándose de su hemolinfa. La hembra de Varroa se diferencia fácilmente de un macho y es reconocible por su cuerpo aplastado color marrón rojizo, su forma ovalada (1,6 x 1,1 mm) y 4 pares de patas. La hembra inmadura y el macho de Varroa sólo pueden existir en las celdillas de cría, son más pequeños y de color nacarado. Todos los estadios se ven fácilmente a simple vista.

La taxonomía actual de *Varroa* en las abejas melíferas asiáticas se puede resumir de la siguiente manera:

Reino Animal

Filo: Artrópodos

Clase: Arachnida

Subclase: Acari

Superorden: Parasitiformes

Orden: Mesostigmata

Familia: *Varroidae*

Género: *Varroa*

Especies:

V. jacobsoni

V. underwoodi

V. rindereri

V. destructor

(Patricia Aldea-Sánchez et al., 2013)

7.7.1. Etiología.

La varroasis es una enfermedad causada por un ectoparásito *Varroa destructor*, el cual se alimenta de la hemolinfa de las abejas, afecta tanto a las larvas como a las abejas adultas. La larva del ácaro se desarrolla dentro del huevo durante las primeras horas después de la ovoposición. Desde la eclosión del huevo hasta la muda adulta, los descendientes de los ácaros pasan a través de los estadios de huevo a larva, protoninfa, deutoninfa y adulto; el tiempo de desarrollo es de 5.8 y 6.6 días para los ácaros hembras y machos, respectivamente (Maldonado-González et al., 2017).

El ciclo completo del acaro ocurre dentro de las colmenas e implica su alimentación tanto de las abejas adultas (fase forética) como de la cría (fase reproductiva) (Ministerio de Agricultura, 2023) Las hembras adultas pasan por dos fases en su ciclo de vida. Durante la fase forética, pasan de abeja en abeja a medida que estas caminan una junto a la otra en la colonia. Por lo general se pueden encontrar entre los segmentos abdominales de las abejas, *Varroa* perfora el tejido blando entre los segmentos y se alimenta de los almacenes de grasa de las abejas a través de las perforaciones, su forma aplanada les permite esconderse entre los segmentos abdominales de su huésped, la fase forética se puede transmitir entre colonias cuando las abejas infestadas se desplazan a otras colonias y durante el manejo de las colmenas por parte del apicultor (Ellis & Zettel, 2023).

7.7.2. Distribución.

El acaro fue descubierto por Edward Jacobson en 1904 en la isla de Java, en colonias de *Apis cerana*, y fue clasificado por A. C. Oudemans como *Varroa jacobsoni* Oud. En 1912 H. Buttel Reepen describió los diferentes estadios del ácaro en ninfas de zánganos (Martínez et al., 2011).

En 1958 el ácaro fue detectado en Rusia y Japón, en 1960 en China, y de 1967 a 1982 se encontró en Europa y norte de África. En 1971 Paraguay importó desde Japón abejas reinas y su colmena infestada con el parásito; este hecho dio lugar a la introducción y dispersión del ácaro por todo el continente americano. En 1987 se reportó su presencia en Estados Unidos de América y en 1992 en México, en el estado de Veracruz (Subcomité Apícola, 2021)

Varroa destructor es un acaro de distribución mundial, en 2016 llegó a Australia, que era el único continente libre de la enfermedad hasta el momento. Actualmente está presente en todos los países donde se cría *Apis mellifera* (Martínez et al., 2022).

7.7.3. Patogenia.

El acaro madre hace un agujero en la cutícula de la pupa para que las ninfas se alimenten, este agujero se localiza generalmente en el quinto segmento de la pupa de abeja y cerca del sitio de acumulación fecal (Maldonado-González et al., 2017). Si la cría no muere, dará origen a adultos deformes. Los adultos infestados son débiles y tienen vidas productivas más cortas que los sanos, existen evidencias de que *V. destructor*, tras mite enfermedades virales, bacterianas y fungales. El impacto de *Varroa* depende del grado de infestación de las colmenas afectadas. Una infestación baja, causa daños ligeros, mientras que una infestación severa puede acabar por completo con las colmenas (Maldonado-Simán et al., 2002).

Varroa destructor se disemina en forma natural entre las colonias y apiarios a través de los zánganos y las abejas obreras infestadas que se introducen en colmenas diferentes a las suyas por pillaje o durante el pecoreo (SENASICA, 2014).

Hay dos fases distintas en el ciclo de vida de las hembras de *V. destructor*: una fase forética en las abejas adultas (sobre las abejas) y una fase reproductiva dentro de las celdas con cría operculada de los zánganos y las abejas obreras, que es donde este ectoparásito se reproduce. Si la cría no muere, dará origen a adultos deformes. Los adultos que están infestados son débiles y tienen una vida reproductiva más corta que los sanos (Maldonado González & Tenorio Beltrán, 2017).

7.7.4. Situación zoonosanitaria de *Varroa destructor*.

V. destructor se ha convertido en el ectoparásito con mayor potencial de destrucción en la apicultura, comprometiendo tanto la salud de las abejas individuales como la resiliencia general de las colonias y apiarios (Jeyapriya & Sumathi, 2025). *Varroa destructor* fue reportado por vez primera en México en 1992 en el Estado de Veracruz y actualmente se encuentra distribuido en todo el territorio nacional (Agricultura, 2025). El impacto de *Varroa* depende del grado de infestación de las colmenas afectadas. Una infestación baja, causa daños ligeros, mientras que una infestación severa puede acabar por completo con las colmenas en un apiario (Medina Flores & Guzmán Novoa, 2011).

7.7.5. Prevención.

la fase forética de *Varroa destructor* se puede transmitir entre colonias cuando las abejas se desplazan a otra colmena, esto sucede comúnmente en lugares donde se manejan colmenas a pocos metros unas de otras, sin embargo, a menudo las distancias ideales no son prácticas para la mayoría de los apicultores. Las buenas prácticas de manejo puede evitar la propagación del acaro por parte de los apicultores de colonia en colonia (Ellis & Zettel, 2023).

7.7.6. Diagnóstico y niveles de infestación.

Para el diagnóstico morfológico los ácaros recolectados en el campo deben conservarse inmediatamente en alcohol etílico 70-95% o RNA later. Esto garantiza que las muestras no se dañen e incluso si se mantienen a temperatura ambiente, se mantengan en condiciones adecuadas para los análisis morfológicos durante al menos unos meses, aunque a menudo perdura más tiempo. Sin embargo, si las muestras se van a utilizar en el análisis de ADN, deben almacenarse en un ambiente fresco, refrigerar a 4°C o un congelador a -20°C, unos días después de la recolección para prevenir la degradación del ADN de los tejidos (Patricia Aldea-Sánchez et al., 2013).

Existen diversas metodologías para el diagnóstico de *Varroa destructor*, el método oficial descrito en la NOM-001-ZOO-1994 Campaña Nacional contra la Varroasis de las Abejas es la prueba David de Jong.

7.7.7. Prueba David de Jong.

Se debe realizar un muestreo al azar del 15% de las colonias del apiario por lo menos cada seis meses tomando muestras del centro y extremos de cada colmena, evitando a la abeja reir, esto con el fin de conocer el porcentaje de infestación.

Paso 1: Agitar la muestra que contiene alcohol o jabón en polvo, con las abejas colectadas y se agita vigorosamente durante 2 minutos.

Paso 2: Se coloca el paño de preferencia color blanco para resaltar el color marrón de la varroasis y así sea más fácil su separación, se coloca el vaso de precipitado donde caer el alcohol y el agua.

Paso 3: Se vierte el contenido de Abejas utilizando el colador de malla criba y se agita para dejar caer los ácaros varroa en la franela.

Paso 4: Se toman los ácaros varroas y se van colocando en la tapa del frasco, posteriormente con la franela se hace la separación de las abejas y de otros ácaros varroas que vayan saliendo se colocan en la tapa y se realiza el conteo de abejas y ácaros varroas (Subcomité Apícola, 2021).

$$\% \text{ de infestación} = \frac{\text{No. de Varroas}}{\text{No. de Abejas}} \times 100$$

7.8. Tratamientos.

El calendario de tratamientos debe adaptarse de manera flexible al ciclo de cría de la colmena, al nivel real de infestación y al plan sanitario integral del apiario. Aunque la Norma Oficial Mexicana NOM-001-Z00-1994, Campaña Nacional contra la Varroasis de las Abejas (1994) establece que se deberá efectuar el diagnóstico de las colmenas en los apiarios, cada 6 meses y brindar el tratamiento adecuado de ser el caso. Es importante implementar tratamientos oportunos y estratégicamente programados en las etapas críticas del ciclo anual para asegurar colmenas fuertes y con buena capacidad de resistencia durante la temporada invernal (Medina Flores & Guzmán Novoa, 2011).

7.8.1. Físicos.

Existen diversos métodos físicos que se emplean para disminuir/evitar la presencia de *Varroa destructor* en las colmenas:

Pisos de malla sanitaria (fondos antivarroa): La incorporación de un piso con malla en la colmena permite que los ácaros que se desprenden de las abejas atraviesen la rejilla y caigan en una bandeja inferior, impidiéndoles regresar a la colonia. Este mecanismo favorece una disminución continua y natural de la población de *Varroa destructor* (Vivas & Berdugo, 2015).

Enjaulamiento o bloqueo de la reina: Esta técnica consiste en aislar temporalmente a la reina para interrumpir el ciclo de ovoposición. La ausencia de cría operculada obliga a los ácaros a permanecer en fase forética sobre las abejas adultas, etapa en la que son más susceptibles a tratamientos físicos o a productos orgánicos, como el ácido oxálico (Underwood & López Uribe, 2025).

Tratamiento térmico (termoterapia): Se han desarrollado dispositivos especializados, que permiten aplicar calor controlado a la cría operculada o a núcleos completos, exponiéndolos a temperaturas entre 40 °C y 47 °C durante aproximadamente dos horas. Este rango térmico resulta letal para los ácaros sin afectar el desarrollo de las pupas de abeja (Oliver, 2021).

Espolvoreo con azúcar glass: El uso de azúcar glass sobre las abejas adultas facilita el desprendimiento de los ácaros adheridos al cuerpo de las obreras. El azúcar no representa riesgo para la colonia, y los ácaros desprendidos caen al fondo de la colmena, adicionalmente, se recomienda utilizar un piso sanitario con bandeja para evitar que los parásitos puedan reincorporarse a la colonia (Underwood & López Uribe, 2025).

7.8.2. Químicos.

Las estrategias de control de *Varroa destructor* suelen aplicarse una o varias veces a lo largo de la temporada apícola y generalmente se implementan de forma alterna entre uno y otro, para aumentar su eficacia. Dentro de las herramientas más empleadas se encuentran los acaricidas sintéticos, cuyo uso varía según la región o el país. Aunque estos compuestos químicos permiten reducir las poblaciones de ácaros, también pueden provocar efectos tóxicos en las abejas y llegar a comprometer la salud de colonias completas. Además, su aplicación implica riesgos asociados a la presencia de residuos en los productos apícolas y a la eventual aparición de resistencia por parte del parásito (Vercelli & Croce, 2023).

Cabe destacar que la mayoría de los acaricidas no actúa sobre los ácaros que se encuentran protegidos dentro de las celdas de cría, lo que limita su eficacia total en el manejo del parásito por medio de métodos químicos. Diversas evaluaciones comparativas han analizado la eficacia de distintos compuestos utilizados en el control de *Varroa destructor*. En estos análisis, el ácido fórmico ha mostrado un efecto terapéutico superior al del timol, no solo por alcanzar un mayor porcentaje de mortalidad del ácaro, sino también por iniciar su acción

dentro de las primeras 72 horas posteriores a la aplicación, en contraste con el tiempo aproximado de siete días requerido por el timol (Calderón & Ramírez, 2015). De manera similar, al comparar el timol con el ácido oxálico, este último presenta niveles más altos de mortalidad del parásito, con valores promedios cercanos al 84 %, comparado con el 63 % observado en el uso de timol (Yevstafieva, 2019).

En cuanto al uso de acaricidas sintéticos, durante varios años se recomendó el empleo de fluvalinato para el tratamiento de la varroasis. No obstante, investigaciones posteriores han demostrado que la exposición a este piretroide puede generar alteraciones en el ciclo reproductivo de las abejas, inducir inmunosupresión y favorecer la aparición de poblaciones de ácaros resistentes, asociados a mutaciones genéticas (González Cabrera & Rodríguez Vargas, 2017). Estas limitaciones impulsaron la evaluación de otros principios activos, como el amitraz, cuyo porcentaje de mortalidad es ligeramente menor en comparación con otros compuestos, pero que presenta un perfil de toxicidad menos severo, ya que sus efectos adversos se manifiestan después de 96 horas, con una DL50 aproximada de 230 µg por abeja (Yevstafieva, 2019).

7.8.3. Biológicos.

Eliminación de cría de zángano: Dado que la *Varroa* muestra preferencia por reproducirse en las celdas de zángano, es posible colocar cuadros diseñados específicamente para este tipo de cría. Una vez operculados, los cuadros se retiran y se eliminan, destruyendo al mismo tiempo los ácaros presentes antes de que emerjan los zánganos de las celdas (Underwood & López Uribe, 2025).

7.8.4. Alternativos.

7.8.4.1. Aceites esenciales.

Para el control de *Varroa destructor* se dispone de diversos principios activos sintéticos de uso comercial. Sin embargo, su eficacia ha disminuido de manera progresiva debido a la aparición de mecanismos de resistencia en las poblaciones de ácaros. En contraste, los compuestos de origen natural, particularmente los aceites esenciales, presentan una probabilidad reducida de inducir resistencia, además de mostrar niveles de eficacia consistentes en diferentes evaluaciones experimentales (Bava & Palma, 2025).

Los aceites esenciales (AE) constituyen mezclas complejas de compuestos vegetales volátiles con una amplia gama de propiedades biológicas, entre las que destacan sus actividades bactericidas, viricidas, fungicidas y antiparasitarias (Imdorfa & Bogdanov, 1999). Su

actividad se debe principalmente a la presencia de terpenos, terpenoides y compuestos fenólicos, los cuales interactúan con diversos sistemas biológicos y les confieren su capacidad bioactiva (Nardoni & D'Ascenzi, 2018).

En el ámbito de la apicultura, los AE y sus monoterpenos han sido objeto de creciente interés como alternativas a los acaricidas sintéticos para el manejo de plagas y enfermedades que afectan a *Apis mellifera*. Su potencial radica en su origen natural, su menor impacto ambiental y la probabilidad reducida de generar resistencia en los ácaros (Bava & Palma, 2025). A pesar de estos atributos, solo un número limitado de productos comerciales basados en AE ha logrado llegar al mercado. Esta situación se debe principalmente a la inconsistencia observada entre los resultados de estudios de campo, incluso cuando se trabaja con extractos provenientes de la misma especie vegetal (Hýbl & Bohatá, 2021).

Esta variabilidad está asociada a diversos factores, entre ellos: diferencias en la composición química de las plantas según su origen geográfico o estado de madurez; así como elementos del diseño experimental, que incluyen la vía de administración del aceite esencial (vaporización, aspersión, tiras impregnadas, dietas suplementadas), la dosificación empleada y la frecuencia de los tratamientos (Pusceddu & Floris, 2021).

Algunos ejemplos de aceites esenciales son: Aceite de melón amargo, aceite de ajo, aceite de albahaca, aceite de mostaza, aceite de tomillo, aceite de clavo, aceite de laurel, aceite de lavanda, aceite de eucalipto, aceite de menta, aceite de romero entre otros (Hýbl & Bohatá, 2021).

7.8.4.2. Hidrolatos.

Los hidrolatos también denominados hidrosoles, aguas florales, aguas destiladas o aguas aromáticas se obtienen como coproductos del proceso de destilación por arrastre de vapor empleado para la extracción de aceites esenciales (Edris, 2009). Durante este procedimiento, el vapor arrastra simultáneamente los compuestos volátiles presentes en la materia vegetal, incluidos los aceites esenciales. Al condensarse la mezcla de vapores en superficies frías, el destilado resultante se separa en dos fases dentro del colector florentino: una fase orgánica correspondiente al aceite esencial y una fase acuosa, el hidrolato (Aćimović & Tešević, 2020).

Por ejemplo: El aceite mineral especialmente el hidrolato de la especie *Victoria* de lúpulo en bioensayos ha evidenciado causar la mortalidad de los ácaros de *Varroa* (Reyna Fuentes & Zapata Campos, Secondary compounds of plants and their effect against the *Varroa* destructor. , 2024), así como el hidrolato de laurel que ha mostrado tener una fuerte actividad acaricida en condiciones de laboratorio (Reyna Fuentes & Martínez González, 2021).

8. Plantas aromáticas antiparasitarias.

Últimamente, se han realizado numerosos estudios sobre el uso de aceites esenciales para el control de la *Varroa destructor*. Los efectos acaricidas de los aceites esenciales se han revisado exhaustivamente (Imdorf et al., 1999). Imdorf et al. (2006) han reportado la actividad acaricida del aceite de tomillo (*Thymus vulgaris* L.), aceite de salvia (*Salvia officinalis* L.) y aceite de hisopo (*Hyssopus officinalis* L.) sobre *Varroa destructor*. En los últimos años, numerosos investigadores han reportado la eficacia de algunos aceites esenciales de plantas como el tomillo, la salvia, el eucalipto, el neem y el pomelo contra la varroa (Ghasemi et al., 2011). Schenk et al. (2001) informaron un efecto dosis-dependiente del aceite de neem (*Azadirachta indica* L.) sobre la varroa. Kraus et al. (1994) indicaron que el aceite de citronela tenía un efecto tóxico sobre el ácaro.

En otro ensayo, los aceites esenciales de plantas de *Saturea hortensis* L., *Zataria multiflora* Boiss., *Mentha spicata* L., *Rosemarinus officinalis* L., *Origanum vulgare* L., *Lavandula officinalis* L. y *Anethum graveolens* L. mostraron una alta toxicidad para la varroa (Ariana et al., 2002). Ruffinengo et al. (2007) informaron que los aceites esenciales de *Tagetes minuta* L., *Heterodera latifolia* Buckey y *Eucalyptus* sp. son eficaces para reducir la infestación por V. destructor. También demostraron que la mayor mortalidad de abejas se atribuyó al aceite esencial de *Eucalyptus* sp. Chiesa (1991) y Gal et al. (1992) informaron que el timol era activo contra la varroa, aunque ambos informaron efectos nocivos para las abejas. Tanto el aceite de neem como el de canola aplicados tópicamente a las abejas son eficaces para matar la varroa forética (Melathopoulos et al. 2000).

8.1. Características fitoquímicas del *Origanum vulgare* Labiatae.

Origanum vulgare, comúnmente conocida como orégano, es una especie de la familia *Lamiaceae* (antes llamada *Labiaceae*), nativa de la región mediterránea y el oeste o suroeste de Eurasia. Se usa como condimento y en la preparación de infusiones herbales. Las partes utilizadas son las brácteas de la inflorescencia, tanto frescas como secas, aunque secas poseen mucho más sabor y aroma.

El nombre orégano (oros, montaña y *ganos*, ornamento) puede ser asignado a poco más de 60 especies de plantas alrededor del mundo pertenecientes a distintas familias entre las que destacan *Verbenaceae*, *Lamiaceae* y *Asteraceae*; todas estas especies se caracterizan por poseer un aroma y sabor característicos. El aroma, sabor y color característico de las especies conocidas como orégano deriva principalmente de las concentraciones y proporciones de los

aceites esenciales y componentes volátiles como terpenoides fenólicos, principalmente timol y carvacrol (Díaz-De León et al., 2020)

Los alimentos de origen vegetal se caracterizan por la presencia de metabolitos secundarios, entre los cuales destacan los compuestos bioactivos y funcionales. El orégano es una especia que se usa como condimento gastronómico y es apreciado por su función medicinal, adjudicándole beneficios como calmantes, estimulantes del apetito, entre otros (Fukalova et al., 2021).

8.2. Características fitoquímicas del *Dalbergia palo-escrito*.

Dalbergia es un género de árboles, con cerca de 250 especies, ubicadas en Centro y Sudamérica, África, Madagascar y Asia. En México se distribuyen 20 especies de este género, 15 de ellas maderables, de las cuales 6 son endémicas (Rzedowski & Guridi-Gómez, 1988).

En México la madera de este género es utilizada localmente para la fabricación de muebles finos, instrumentos musicales (guitarras), además de artesanías y objetos (mangos para cuchillos); también se ha consignado el uso como combustible y las plantas completas llegan a emplearse como cerca viva (Pedraza Ortega et al., 2022). En la medicina tradicional mexicana, se ha documentado el uso terapéutico de *D. glabra* en Quintana Roo, como remedio contra el vómito, asma, anti-inflamatorio y anticonvulsivo. Actualmente se investiga el pigmento del duramen de *D. congestiflora* como colorante natural para alimentos y bebidas, además de propiedades antioxidantes (Gutiérrez-Zúñiga et al., 2014).

8.3. Características fitoquímicas del *Tithonia diversifolia*.

Tithonia diversifolia es un arbusto forrajero, representativo de la familia *Asteracea*. Se encuentra distribuida por todo el mundo, principalmente en áreas tropicales y sub-tropicales de varios países de Asia, África y América del Sur (Scull et al., 2023).

Se han reportado más de 150 compuestos presentes en diferentes tejidos, algunos con propiedades farmacológicas o capaces de modular la dinámica de degradación y fermentación en el rumen. También se destaca que *T. diversifolia* tiene una alta adaptación a condiciones edafoclimáticas adversas lo que puede atribuirse en parte a la capacidad de asociarse con microorganismos diazotróficos del suelo y solubilizadores de fosfatos (Vargas Velázquez et al., 2022). En lo referente a su contenido de metabolitos secundarios y su impacto en alimentación animal, conviene recordar que, compuestos como las saponinas, taninos, aceites esenciales, flavonoides, entre otros, han demostrado reducir la metanogénesis

ruminal por diferentes mecanismos, y de modificar la degradación de las dietas (Rivera Herrera, 2020).

8.4. Características fitoquímicas del *Lavandula angustifolia*.

Lal et al (2025) menciona que el género *Lavandula*, las especies más cultivadas son *L. latifolia* Medik, *L. angustifolia*, *L. stoechas* y *L. intermedia* Emeric ex Loisel⁶. Dos especies de *Lavandula*, concretamente *L. angustifolia* y *L. intermedia*, se consideran para la producción de aceite esencial. El precio de mercado del aceite esencial de la especie *L. angustifolia* es de tres a cinco veces mayor que el del aceite de lavándula debido a su excelente y apreciada. El componente principal de los aceites esenciales de las flores monoterpenos oxigenados por lo que posee un aroma característico.

Los monoterpenoides como alcoholes, cetonas, ésteres y óxidos se encuentran comúnmente en el aceite esencial de lavanda. El componente principal del aceite esencial de lavanda es el linalol. El aceite esencial de flor tiene un aroma más suave en comparación con el de hojas u otros aceites esenciales de *L. angustifolia*. El alcanfor y el 1,8cineol, compuestos químicos, se encuentran en mayor cantidad en el aceite esencial de tallo y hojas. El aceite esencial de lavanda, de vital importancia económica, se utiliza ampliamente en la industria de perfumes y aromas, así como en los sectores alimentario y farmacéutico principalmente como antiparasitarios. (Aprotosoie et al., 2017)

8.5. Características fitoquímicas del *Populus alba*.

Guleria et al, (2020) refiere que el género *Populus* también tiene valor medicinal y se han aislado e identificado aproximadamente más de 130 metabolitos secundarios de especies de este género. Algunos de los compuestos aislados del género *Populus* y sus extractos vegetales exhiben interesantes actividades biológicas, incluyendo antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, neuroprotectoras y anticancerígenas. Además de estas, las revisiones previas estaban disponibles solo sobre biocombustibles, fitocompuestos identificados del género *Populus* y su posible papel en biorrefinerías forestales o bioproductos y sobre el enfoque molecular del género *Populus*. En cuanto a las actividades biológicas, la revisión solo estaba disponible para *P. nigra*. Debido a las diversas ventajas del género *Populus* y a la escasa literatura disponible sobre este tema, el presente artículo de revisión revela un resumen de la descripción botánica, los usos tradicionales, el perfil químico y las actividades farmacológicas del género *Populus*, lo que puede brindar oportunidades a investigadores de todo el mundo para investigar las especies inexploradas de este género mediante el aislamiento de nuevos fitoconstituyentes bioactivos.

9. Referencias

1. Aćimović, M. G., & Tešević, V. V. (2020). Hydrolates by-products of essential oil distillation: Chemical composition, biological activity and potential uses. *Advanced technologies*, 54-70. doi:10.5937/savteh2002054A
2. AGRICULTURA. (2019). Panorama Nacional de la Varroasis.
3. Agricultura. (2025). Situación zoonosanitaria en los estados de la República Mexicana.
4. Alvarado, D. G. E., Mayorga, C. F. javier, Trujillo, O. Ma. E., & Suárez, G. F. (2012, July). Patología, Diagnóstico y Control de las Principales Enfermedades y Plagas de las Abejas Melíferas. https://atlas-abejas.agricultura.gob.mx/pdfs/PATOLOGIA_DIAGN_CNTRL_ENFRMDDS_AB_EJAS_MELIFERAS.pdf
5. Aprotosoai, AC, Gille, E., Trifan, A., Luca, VS y Miron, A. Aceites esenciales del género *Lavandula*: una revisión sistemática de sus Química. *Phytochem. Rev.* 16, 761–799 (2017).
6. Ariana A, Ebadi R, Tahmasbi GH (2002) Laboratory evaluation of some plant essences to control *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *Exp Appl Acarol* 27:319–327
7. Baena Díaz, F., & Chévez, E. (2022). *Apis mellifera* en México: producción de miel, flora melífera y aspectos de polinización. Revisión. *Rev Mex Cienc Pecu*, 525-548. doi:10.22319/rmcp.v13i2.5960
8. Bava, R., & Palma, E. (2025). Green Veterinary Pharmacology Applied to Beekeeping: Semi-Field and Field Tests Against *Varroa destructor*, Using Essential Oil of Bergamot (*Citrus bergamia*) and Lemon (*Citrus limon*). *Vet Sci*. doi:10.3390/vetsci12030224
9. Beck, U. *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad* ; Sage Publications: Londres, Reino Unido, 1992. [Google Scholar]
10. Calderón , R., Ramírez, M., Ramírez, F., & Villalobos , E. (2014). Efectividad del ácido fórmico y el timol en el control del ácaro *Varroa destructor* en colmenas de abejas africanizadas. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 175-188.
11. Campa, J. P., Salaverry, X., Katz, H., Campa, J. P., Salaverry, X., & Katz, H. (2024). Monitoreo de loque americana (*Paenibacillus larvae*) en apiarios de la región este-noroeste del Uruguay. *Veterinaria (Montevideo)*, 60(222), e20246022205. <https://doi.org/10.29155/VET.60.222.5>
12. Chan Chi, J. R., & Caamal Cauich, I. (2018). Caracterización social y económica de la producción de miel de abeja en el norte del Estado de Campeche, México. *Textual*, 103-124. doi:10.5154/r.textual.2017.72.007
13. Chiesa F (1991) Effective control of varroaosis using powdered thymol. *Apidologie* 22:135–145

14. Correa, B., & Guzmán-Nova, E. (s.f.). Zootecnia Apícola. Obtenido de UNIDAD 11 UNAM Apuntes zoo:
https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_zoo/UNIDAD%2011%20ZOOTECNIA%20APICOLA.pdf
15. Díaz-De León, C. I., González-Álvarez, M., Guzmán-Lucio, M. A., Núñez-Guzmán, G. R., Moreno-Limón, S., Díaz-De León, C. I., González-Álvarez, M., Guzmán-Lucio, M. A., Núñez-Guzmán, G. R., & Moreno-Limón, S. (2020). El orégano de los géneros *Lippia* (Verbenaceae) y *Poliomintha* (Lamiaceae) en el Estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, 0(50), 1–18.
<https://doi.org/10.18387/POLIBOTANICA.50.1>
16. Edris, A. (2009). Identification and absolute quantification of the major water-soluble aroma components isolated from the hydrosols of some aromatic plants. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 155-161.
17. Ellis, D. J., & Zettel, M. C. (2023). Ácaro Varroa (“Varroa”), *Varroa destructor* Anderson y Trueman (Arácnido: Acari: Varroidae). *EDIS*, 2023(4).
<https://doi.org/10.32473/EDIS-IN1416-2023>
18. FAO. (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido de Honey: <https://openknowledge.fao.org/items/3be337d2-ed8d-4e15-9326-cf477e8d6672>
19. Fukalova, T. F., G., B. B., C., T. N., T., E. S., M., I. S., P., M. T., & C., I. T. (2021). Análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas y capacidad antioxidante de un morfotipo de orégano (*Origanum vulgare* L.) cultivado en dos localidades de la sierra ecuatoriana. *Siembra*, 8(1), e2289–e2289.
<https://doi.org/10.29166/SIEMBRA.V8I1.2289>
20. Gal H, Slabezki Y, Lensky Y (1992) A preliminary report on the effect of origanum oil and thymol applications in honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies in a subtropical climate on population levels of *Varroa jacobsoni*. *Bee Sci* 2:175–180
21. García-Figueroa, C., & Arechavaleta-Velasco, M. E. (2018). Prevalencia de la acariosis traqueal y niveles de infestación de *Acarapis woodi* en colonias de abejas de Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(3), 567–575.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v9n3/2448-6698-rmcp-9-03-567.pdf>
22. Ghasemi, V., Moharramipour, S. & Tahmasbi, G. Biological activity of some plant essential oils against *Varroa destructor* (Acari: Varroidae), an ectoparasitic mite of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Exp Appl Acarol* 55, 147–154 (2011).
<https://doi.org/10.1007/s10493-011-9457-1>
23. Giddens, A. Riesgo y responsabilidad. *Mod. Law Rev.* 1999 , 62 , 1–10. [Google Scholar] [CrossRef]
24. Gómez Leyva, J. F., & Argüello Nájera, O. (2021). Análisis morfométrico y molecular (ADNmt) de abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) en el estado de Tabasco, México. *Rev Mex Cienc Pecu*, 1188-1207. doi:10.22319/rmcp.v12i4.5144

25. Gonzáles Cabrera, J., & Rodríguez Vargas, S. (2017). Resistencia a acaricidas en *Varroa destructor* Anderson and Trueman (Arachnida: Acari: Varroidae): papel de la modificación del sitio diana. *Boletín SEEA* n°2, 39-42.
26. González Gómez, M. (2019). La importancia de la abeja (*Apis mellifera*) como productor de miel polinizador de cultivos y el riesgo a desaparecer por diversos factores (clima, depredadores, productos químicos, transgénicos, etc). Saltillo, Coahuila: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro .
27. González, F. (2025). La producción mielera en Hidalgo y su relevancia nacional. *Gaceta UAEH*, 6(7).
28. González, G., Vargas , Á., Hernández , M., & Susano, G. (2025). La Actividad Apícola en Comunidades Rurales: revisión de Literatura. *IBERO CIENCIAS, Revista Científica y Académica*, 4(3), 722-746.
doi:<https://doi.org/10.63371/ic.v4.n3.a144>
29. Guleria, I., & Kumari, A. (2020). A review on the genus *Populus*: a potential source of biologically active compounds. *Phytochem Rev* (. doi:10.1007/s11101-021-09772-2(0123456789()).,-volV() 012345697()).,-volV)
30. Gutiérrez-Zúñiga, C. G., Arriaga-Alba, M., Ordaz-Pichardo, C., Gutiérrez-Macías, P., & Barragán-Huerta, B. E. (2014). Stability in candy products of neocandenatone, a non-genotoxic purple pigment from *Dalbergia congestiflora* heartwood. *Food Research International*, 65(PB), 263–271.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2014.03.048>
31. Hýbl, M., & Bohatá, A. (2021). Evaluating the Efficacy of 30 Different Essential Oils against *Varroa destructor* and Honey Bee Workers (*Apis mellifera*). *Insects*, 10.3390/insects12111045.
32. Ilyasov, R. A., & Lee, M.-l. (2020). A revision of subspecies structure of western honey bee *Apis mellifera*. *Saudi Journal of Biological Sciences* , 27, 3615-3621.
doi:10.1016/j.sjbs.2020.08.001
33. Imdorf A, Bogdanov S, Ibanñez Ochoa R, Calderone NW (1999) Use of essential oils for the control of *Varroa jacobsoni* in honey bee colonies. *Apidologie* 30:209–229
34. Imdorf A, Bogdanov S, Kilchenmann V, Berger T (2006) Toxic effects of essential oils and some of their components on *Varroa destructor* Oud. and *Apis mellifera* L under laboratory conditions. *ALP Sci* 495:3–18
35. Imdorfa, A., & Bogdanov, S. (1999). Use of essential oils for the control of *Varroa jacobsoni* Oud. in honey bee colonies. *Apidologie*, 209 - 228.
doi:10.1051/apido:19990210
36. INaturalist. (2024). Abeja Melífera Europea. Obtenido de <https://mexico.inaturalist.org/taxa/47219-Apis-mellifera>
37. INEGI. (2024). Actualización del atlas nacional de las abejas y derivados apícolas. Comunicado de prensa número 228/24, 2. Obtenido de

- https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/especiales/Atlas_N_Abejas24.pdf
38. Jeyapriya, G., & Sumathi, E. (2025). Parasitic Mites of Honey Bees (*Apis* Spp.): A Detailed Review of *Varroa destructor* in Parasitism, Pathogen Transmission and its Management. *Acta Parasitol.* doi:10.1007/s11686-025-01124-w
 39. Kraus B, Koeinger N, Fuchs S (1994) Screening of substances for their effect on *Varroa jacobsoni*: attractiveness, repellency, toxicity and masking effects of ethereal oils. *J Apic Res* 33:34–43
 40. Lal, M., & Tamang, R. (2025). Phytochemical profiling and in vitro biological activity evaluation of *Lavandula angustifolia* flower essential oil. *scientific reports.* doi:10.1038/s41598-025-12792-z
 41. Lazos, E.; Melville, R.; Sánchez, M. Introducción: Ambiente, riesgo y territorio en México: Exploraciones antropológicas. En *Riesgos Socioambientales en México ; Sánchez-Álvarez, M., Lazos-Chavero, E., Melville, R., Eds.; CIESAS: Ciudad de México, México, 2012; págs. 17–31. [Google Académico]*
 42. Lazos-Chavero, E., Rivera-Núñez, T., Ruiz-Mercado, I., & Medina-García, M. (2022). Vulnerabilidades, amenazas ambientales y crisis recursivas bajo el COVID-19: dilemas para los apicultores-agricultores en Yucatán, México. *Agronomía* , 12 (8), 1839. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081839>
 43. Loeza-Concha, H., Domínguez-Rebolledo, A., Escalera-Valente, F., Ávila-Ramos, F., Carmona-Gasca, C., Loeza-Concha, H., Domínguez-Rebolledo, A., Escalera-Valente, F., Ávila-Ramos, F., & Carmona-Gasca, C. (2018). Identificación morfométrica de *Varroa destructor* y su plasticidad por la exposición a timol. *Abanico Veterinario*, 8(2), 98–107. <https://doi.org/10.21929/ABAVET2018.82.9>
 44. López-Uribe, M., & Underwood Robyn. (2023). *Enfermedades de la Abeja de Miel: Loque Americana.* <https://pollinators.psu.edu/assets/uploads/documents/Enfermedades-de-la-Abeja-de-Miel-Loque-Americana.pdf>
 45. Magaña Magaña, M. A., & Tavera Cortés, M. E. (2016). Productivity beekeeping in Mexico and its impact on profitability. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1103-1115.
 46. Maldonado González, A., & Tenorio Beltrán, L. (2017). Varroasis: environmental and economic approach. A review. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 1695-7504.
 47. Maldonado-González, A. P., Tenorio-Beltrán, L. E., Vázquez-Romero, Y. I., Villalobos-Rodríguez, M. A., Velázquez-Ordóñez V., Ortega-Santana C., & Valladares-Carranza B. (2017, September 9). Varroasis: enfoque ambiental y económico. Una revisión. 1–12. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63653009023.pdf>
 48. Maldonado-Simán, E., Palafox-Guillén, J., Ochoa-Torres, E., & Rufino López-Ordaz, ; (2002). INCIDENCE AND INFESTATION LEVEL OF VARROATOSIS IN HONEYBEES (*Apis mellifera*) AT THE BEE IDENTIFICATION AND

- DIAGNOSIS LABORATORY FROM 2002 TO 2006 Agustín Ruíz-Flores ¶1 ; Emmanuel Ramírez-Hernández 2. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.03.023>
49. Mallory, E., Freeze, G., Daisley, B. A., & Allen-Vercoe, E. (2024). Revisiting the role of pathogen diversity and microbial interactions in honeybee susceptibility and treatment of *Melissococcus plutonius* infection. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1495010. <https://doi.org/10.3389/FVETS.2024.1495010>
 50. Marín Gutiérrez, B. C., & Magaña Magaña, M. Á. (2025). Principales características socioeconómicas de la actividad apícola en el municipio de Champotón, Campeche, en el año 2023. *Acta Universitaria*. doi:10.15174/au.2025.4209
 51. Martínez, P. J. F., Alcalá, E. K. I., Leal, H. M., Vivas, R. J. A., & Martínez, A. E. (2011). Prevención de Varroosis y Suplementación Manual de capacitación. 6. https://redgatro.fmvz.unam.mx/assets/manual_varroosis.pdf
 52. Martínez, P. J. F., Gómez, L. J. F., González, C. N., Catzím, R. F. J., Sánchez, M. Y., & Payró, de la C. E. (2022, March). Vista de Presencia de *Varroa destructor*, *Nosema* spp. y *Acarapis woodi* en colonias de abejas de Tabasco | Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3033/5036>
 53. Medina Flores, C. A., & Guzmán Novoa, E. (2011). Efecto del nivel de infestación de *Varroa destructor* sobre la producción de miel de colonias de *Apis mellifera* en el altiplano semiárido de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*.
 54. Medina-Flores, C. A., Medina Medina, L. A., Guzmán-Novoa, E., Medina-Flores, C. A., Medina Medina, L. A., & Guzmán-Novoa, E. (2022). Efecto del comportamiento higiénico sobre la resistencia a la cría calcárea (*Ascosphaera apis*) en colonias de abejas africanizadas (*Apis mellifera*). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(1), 225–239. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V13I1.5907>
 55. Melathopoulos AP, Winston ML, Whittington R, Smith T, Lindberg C, Mukai A, Moore M (2000) Comparative laboratory toxicity of neem pesticides to honey bees (Hymenoptera: Apidae), their mite parasites *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae) and *Acarapis woodi* (Acari: Tarsonemidae) and brood pathogens *Paenibacillus* larvae and *Ascosphaera apis*. *J Econ Entomol* 93:199–209
 56. Ministerio de Agricultura, P. y A. (2023). Varroosis. <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/sanidad-animal-higiene-ganadera/sanidad-animal/enfermedades/varroosis/varroosis>
 57. Nardoni, S., & D'Ascenzi, C. (2018). Cría de piedra y cría de tiza en *Apis mellifera* que causan hongos: sensibilidad in vitro a algunos aceites esenciales. . *Res. Prod. Nacional*, 385–390.
 58. Neira, C. M., Heinsohn, P. P., Carrillo, L. R., A., B. M., & Fuentealba, A. (2004). Efecto de Aceites Esenciales de Lavanda y Laurel sobre el Ácaro *Varroa Destructor*. *Agric. Téc.*, 64(3), 238-244.

59. Oliver, R. (2021). A Test of Thermal Treatment for Varroa. Beekeeping Through the Eyes of a Biologist.
60. OMSA. (2021). Enfermedades de las abejas. Manuella Terrestre de la OIE, 14.
61. Organización Mundial de Sanidad Animal. (2021). Varroasis de las abejas mellíferas . En Manual Terrestre de la OIE .
62. Ostap-Chec, M., Cait, J., Scott, R. W., Arct, A., Morón, D., Rapacz, M., & Miler, K. (2024). Nosemosis negatively affects honeybee survival: experimental and meta-analytic evidence. *Parasitology*, 151(14), 1530–1542.
<https://doi.org/10.1017/S0031182024001446>
63. Pasos, E. D. M., Pérez, I. A. V., Jiménez, R. A., Fernández, L. P., & Urquizo, E. A. (2025). Meliponicultura del noroeste de Yucatán: historia, desafíos y transmisión de saberes. *Estudios de Cultura Maya*, 65, 189–217.
<https://doi.org/10.19130/IIFL.ECM.2025.1/0Q27R1V056>
64. Patricia Aldea-Sánchez, Belén Branchiccela, Natalia Bulacio Cagnolo, Agostina Giacobino, Ciro Invernizzi, & Adriana Pacini. (2013). Manual para el estudio de la Varroosis en *Apis mellifera*. <https://solatina.org/wp-content/uploads/2022/04/Manual-para-el-estudio-de-la-Varroosis-en-Apis-mellifera.pdf>
65. Pedraza Ortega, E., Julio Catarino, L., Martínez Salas, E., & Sotuyo, S. (2022). El palo de rosa: la tala ilegal y su comercio. *Revista Digital Universitaria*, 23(4).
<https://doi.org/10.22201/CUAIEED.16076079E.2022.23.4.6>
66. Pusceddu, M. P., & Floris, I. (2021). In Vitro Activity of Several Essential Oils Extracted from Aromatic Plants against *Ascosphaera apis*. *Veterinary sciences*. doi:10.3390/vetsci8050080
67. Reyes Sámano, L. (2024). Expresiones regionales de la cadena de valor de la miel en el estado de Hidalgo, México. *Revista de Investigación en Geografía*. Obtenido de https://ru.atheneadigital.filos.unam.mx/jspui/handle/FFYL_UNAM/10087
68. Reyna Fuentes, J. H., & Martínez González, J. C. (2021). Effect of three vegetable grinds against the Varroa destructor mite in colonies of *Apis mellifera*. *Nova Scientia*. doi:10.21640/ns.v14i28.3019
69. Reyna Fuentes, J. H., & Zapata Campos, C. C. (2024). Secondary compounds of plants and their effect against the Varroa destructor. . *Tropical and Subtropical Agroecosystems*.
70. Rivera Herrera, J. E. (2020). Variabilidad fenotípica y genética de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) A. Gray, una planta para la producción animal sostenible en Colombia. Universidad de Antioquia. <https://hdl.handle.net/10495/16661>
71. Robles, E., & Salvachúa, J. (2012). Iniciación a la apicultura. Tecnología y calendario. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. Obtenido de Agro Guías, Ediciones.

72. Ruffinengo S, Maggi M, Faverin C, Garcia DSB, Bailac P, Principal J, Eguaras M (2007) Essential oils toxicity related to Varroa destructor and Apis mellifera under laboratory conditions. *Zootec Trop* 25:63–69
73. Rzedowski, J., & Guridi-Gómez, L. I. (1988). El palo escrito, árbol de madera preciosa - una nueva especie mexicana de Dalbergia (Leguminosae, Papilionoideae). *Acta Botanica Mexicana*, 4, 1–8.
<https://doi.org/10.21829/ABM4.1988.568>
74. SADER. (15 de agosto de 2017). Si de historia se trata, hablemos de apicultura. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural:
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/si-de-historia-se-trata-hablemos-de-apicultura>
75. SADER. (2010). Situación actual y perspectiva de la apicultura en México. *Revista Claridades Agropecuarias*(199), 3-34. Obtenido de <https://atlas-abejas.agricultura.gob.mx/pdfs/ca199-3.pdf>
76. SADER. (21 de mayo de 2021). Una apicultura sana previene la varroasis. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural :
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/una-apicultura-sana-previene-la-varroasis#:~:text=En%20los%20primeros%20cuatro%20meses,de%20varroasis%20es%20el%20objetivo.&text=La%20varroasis%20es%20una%20enfermedad,abejas%20obreras%2C%20reinas%20y%20z%C3%A1ngan>
77. Sánchez Gómez, J., & Vázquez Alfaro, M. (2022). Characteristics and technological needs of beekeepers in the south-central region of Jalisco.
78. Sánchez-Bayo, F. (2016). Are bee diseases linked to pesticides? *Environment International*, 7-11. doi:10.1016/j.envint.2016.01.009
79. Scull, R. I., Savón, V. L., & Ruíz, V. T. (2023). Composición fitoquímica de materiales de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) colectados en la zona oriental de Cuba. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 28(4).
<https://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/1488/535>
80. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Yucatán. (2024). Producción de miel en México. Obtenido de
<https://www.gob.mx/agricultura/yucatan/articulos/produccion-de-miel-en-mexico-375657?idiom=es>
81. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (1994). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ZOO-1994, Campaña Nacional contra la Varroasis de las Abejas.
82. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). La Apicultura en México. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-apicultura-en-mexico?idiom=es>
83. SENASICA. (2014). Manual de diagnóstico y tratamiento para la varroasis de las abejas.

84. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Sistema de información Agroalimentaria de Consulta SIACON. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
85. Subcomité Apícola. (2021). Manual de Diagnóstico y Tratamientos para la Varroasis de las Abejas. 19. <https://www.osiap.org.mx/senasica/sites/default/files/Varroa1%20%281%29-ilovepdf-compressed.pdf>
86. Tapia-González, J., León-Mantecón, T., Contreras-Escareño, F., Macias-Macias, J., Tapia-Rivera, J., & Guzmán-Novoa, E. (2021). Influencias climáticas, regionales y cantidad de cría en el comportamiento higiénico de *Apis mellifera*. *Abanico Veterinario*, 11, 1–6. <https://doi.org/10.21929/abavet2021.20>
87. Underwood, R., & López Uribe, M. (2025). Methods to Control Varroa Mites: An Integrated Pest Management Approach. (N. I. Agriculture, Ed.)
88. Vargas Valero, A., & Reyes Carrillo, J. (2020). Residuos de plaguicidas en miel y cera de colonias de abejas de La Comarca Lagunera. *Abanico vet.* doi:10.21929/abavet2020.7
89. Vargas Velázquez, V. T., Pérez Hernández, P., López Ortiz, S., Castillo Gallegos, E., Cruz Lazo, C., Jarillo Rodríguez, J., Vargas Velázquez, V. T., Pérez Hernández, P., López Ortiz, S., Castillo Gallegos, E., Cruz Lazo, C., & Jarillo Rodríguez, J. (2022). Producción y calidad nutritiva de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Grey en tres épocas del año y su efecto en la preferencia por ovinos Pelibuey. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(1), 240–257. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V13I1.5906>
90. Vercelli, M., & Croce, L. (2023). Biotechnical Control of Varroa in Honey Bee Colonies: A Trade-Off between Sustainable Beekeeping and Profitability? *Insects*. doi:10.3390/insects14100830
91. Vivas, R., & Berdugo, R. (2015). Control del ácaro Varroa destructor mediante métodos alternativos. En INIFAP. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
92. Yevstafieva, & N. (2019). Effectiveness of modern acaricidal preparations for bee varroasis. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and*, 133-138.

CAPÍTULO II

Características sociodemográficas, productivas y tecnológicas de apicultores en la Huasteca Hidalguense

Noé Ríos-Argüelles¹, Sergio Soto-Simental¹, Maricela Ayala-Martínez¹

¹ Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Av. Universidad # 133, Col. San Miguel Huatengo, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, México. CP. 43775.

Resumen

La apicultura es importante para el desarrollo económico de pequeños productores localizados en áreas de bajo desarrollo tecnológico. El objetivo del presente estudio fue describir las características sociales, productivas y tecnológicas de apicultores localizados en la región Huasteca de ocho municipios del estado de Hidalgo, México. Se realizaron 88 encuestas a productores de miel, el instrumento constó de 131 preguntas, distribuidas en los siguientes apartados: datos generales, datos de producción y manejo del apiario. Además, con ellos se calcularon cinco índices tecnológicos de manejo (general, genético, alimenticio, sanitario y sustentable). Los datos obtenidos se analizaron por medio de componentes principales, conglomerados, análisis descriptivo y de varianza de una sola vía. Los apicultores de la región Huasteca del estado de Hidalgo se caracterizan por ser en su mayoría de una etnia, hablar náhuatl, saber escribir, leer y son hombres entre 47 y 52 años, tener entre 13 y 21 años de experiencia, lo cual denota que en esta región permanece una producción tradicional, sin organización formal, sin embargo, están preocupados por hacer que esta actividad sea sustentable; lo cual permite dividir a los productores de miel en dos grupos de acuerdo al manejo que realizan en sus apiarios, principalmente en el mejoramiento genético, la alimentación y la sanidad (tratamiento y control de varroasis), además de la captura de enjambres silvestres.

Palabras claves: Apicultura, varroasis, manejo del apiario, índices tecnológicos

Introducción

Los insectos son de las especies más diversas y abundantes en el mundo, algunas de esas especies contribuyen a mejorar las cosechas agrícolas (1). Las abejas es un grupo diverso que contribuye a este fin, sin embargo, su población se ha visto amenazado por una serie de factores abióticos y bióticos (2), entre ellos el cambio climático, el incremento de la población humana que invade zonas rurales (3). Con el propósito de amortiguar esos cambios, los apicultores han implementado una serie de prácticas que les permitan aminorar esta problemática (4), con la finalidad de continuar con la producción de productos de la colmena para consumo humano.

La producción de miel en México ha sufrido poca variación en los últimos años, con alrededor de 58,033 ton anuales, siendo la región sur-sureste del país la de mayor producción (5). La producción se concentra principalmente en dos épocas del año, abril a mayo y de noviembre a diciembre, en las cuales se recolecta la mayor cantidad de miel. Por lo cual, México exporta el 38.5 %, principalmente a Estados Unidos de América y Alemania (6).

La apicultura permite mejorar el desarrollo económico de las comunidades rurales donde se realiza, además de fortalecer el medio ambiente a través de la recuperación de ecosistemas deteriorados, impulsando un entorno en el cual se propicie el equilibrio entre la agricultura y los sistemas agroforestales (7).

La tipificación de los apicultores en diversas zonas del mundo, da un indicador de las buenas prácticas apícolas que se están utilizando en la producción de miel, con ello se puede detectar el manejo sanitario, nutricional y sustentable de los apiarios, lo que incentiva una producción de miel más amigable con el medio ambiente, por lo cual, la utilización de compuestos bioactivos que mejoren las condiciones sanitarias de las colmenas, dando como resultado la obtención de productos sustentables. El objetivo del presente estudio fue describir las características sociodemográficas, productivas y tecnológicas de apicultores localizados en la región Huasteca del estado de Hidalgo, con la finalidad de conocer sus necesidades y áreas de mejora, para proponer estrategias que fortalezcan la producción apícola en la zona.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio. El presente estudio se llevó a cabo en la región de la Huasteca Hidalguense, conformada por 8 municipios (Jaltocán, San Felipe Orizatlán, Huautla, Huejutla de Reyes, Huazalingo, Atlapexco, Yahualica y Xochiatipan), se localiza en la longitud oeste 98°58'25", latitud norte 16°8'27" y una altitud que va de los 100 a los 800 metros sobre el nivel del mar.

Obtención de la muestra. Para llevar a cabo el muestreo en la zona, se tomó en cuenta la base de datos de las unidades de producción apícola que se tienen atendidas en el Programa de Inocuidad Pecuaría del Comité Estatal de Fomento y Protección Pecuaría del Estado de Hidalgo, A.C., organismo auxiliar del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural; organismo que capacita y asesora a las unidades de producción en la zona. Para determinar el tamaño de la muestra, a través de la siguiente ecuación:

Donde:

n = tamaño de la muestra, Z = valor de tabla de distribución normal con un α al 95%, $p = q = 0.5$ proporción de individuos en la muestra, e = límite del error de la muestra.

Diseño del cuestionario y su aplicación. Se diseñó y se aplicó un cuestionario a 88 productores de miel de la Huasteca Hidalguense en los meses de abril y mayo de 2021, con la participación de personal del Comité de Fomento Pecuario del Estado de Hidalgo A. C. El cuestionario se dividió en tres partes, i) datos generales (estado civil, edad, sexo, etnia, lengua, escolaridad, actividad económica, pertenencia a una organización y experiencia en la apicultura), ii) datos de producción (número de colmenas, número de apiarios y producción al año de miel) y iii) manejo del apiario (Tabla 2.1), a partir de ellos se seleccionaron las variables a analizar. A su vez, el manejo del apiario se dividió en general, específico, medicina preventiva y control de enfermedades.

Índices tecnológicos. Se construyeron índices tecnológicos, para lo cual, se identificaron aquellas prácticas que realizan los apicultores de la región estudiada; se utilizó **1** cuando la práctica se realiza y **0** cuando no, de acuerdo con lo propuesto por Vélez Izquierdo et al. (8),

los índices calculados fueron: manejo del apiario, manejo alimenticio, manejo genético, manejo sanitario, sustentabilidad y total. Utilizando la siguiente fórmula:

Dónde: I_{ij} indica el i-ésimo índice tecnológico para el j-ésimo apicultor, δ_n es la suma de prácticas tecnológicas que el apicultor realiza, y δ_i es la suma máxima de prácticas que podría realizar el productor.

Análisis estadístico. Para llevar a cabo la descripción de las prácticas que realizan los apicultores de la Región Huasteca del estado de Hidalgo, se llevó a cabo un análisis multivariado, donde se realizó una correlación entre 17 variables obtenidas de las encuestas realizadas, aunado a lo anterior se agruparon las variables para el cálculo de índices acordes al manejo del apiario (índices de manejo general, alimenticio, genético, sanitario, sustentabilidad y la suma total de los índices). De los calculados se seleccionaron los índices de manejo y sustentabilidad. Al analizarlos por componentes principales, se seleccionaron dos de ellos.

Para llevar a cabo el análisis estadístico de la encuesta, se procedió a hacer un análisis multivariado donde fueron utilizados como componentes principales (Fig. 5), los índices de sustentabilidad y sanidad, las variables cuantitativas se sometieron a un análisis de componentes principales, donde se identificaron dos conglomerados (Fig. 6), considerando los índices tecnológicos. Todas las variables fueron agrupadas en dos grupos de acuerdo a los conglomerados identificados. Las variables cuantitativas se analizaron por medio de un análisis de varianza, mientras que para las variables cualitativas se determinaron frecuencias. Todos los análisis se llevaron a cabo por medio del paquete estadístico Minitab® 20.3.

Resultados y discusión

Características sociodemográficas de los apicultores de la Huasteca Hidalguense. Los apicultores encuestados de la Huasteca Hidalguense son el 82 % del sexo masculino y 18 % femenino, de los cuales el 91 % están casados y 9 % solteros. El 54.5 %, desempeñan diferentes oficios, 18 % son profesionistas y 27.5 % se dedican a diversas actividades agrícolas. Con respecto al nivel de estudios 9.05 % no tienen formación académica, 18.1 % tienen primaria, 27.15 % secundaria, 9.05 % bachillerato y 36.2 % licenciatura. Teniendo una correlación negativa entre edad y escolaridad de -0.8, mientras que correlaciones

moderadas entre la producción, ingreso principal y antigüedad de 0.48. Estos productores se dividieron en 2 grupos. El grupo 1, se encuentra en una edad promedio de 52.3 ± 14.2 años, con mayor experiencia ($P < 0.05$), 20.9 ± 12.0 años, el 96.88 % pertenece a una etnia, habla náhuatl y sabe leer y escribir, sin embargo, el 71.88 %, no pertenece a una organización. El grupo 2, se encuentra en una edad promedio de 47.2 ± 10.7 años, con 13.8 ± 10.2 años de experiencia, el 95.65 % pertenece a una etnia, el 73.92 %, no pertenece a una organización, el 94.65 % habla náhuatl, sabe leer y escribir. La descripción de las características de los apicultores de la región Huasteca del estado de Hidalgo presenta algunas similitudes con otras regiones productoras de miel en el país, ya que se ha reportado que en los estados de Morelos (8), Chihuahua (9), sur y sureste de Jalisco y región central de Veracruz (10), los apicultores tienen edades similares que fluctúan entre los 46 y 55 años de edad, así como en Tabasco, (11) los apicultores tienen 48 años de edad promedio, pero con menos experiencia al notificar 8 años; en Guanajuato los apicultores tienen una edad promedio de 51 años, el 58 % pertenecen a una asociación y cuentan con licenciatura o posgrado (12); en Jalisco los apicultores tienen una edad promedio 53 años, con experiencia de 23 años, una escolaridad de 9 años (13); en Campeche los apicultores tienen una edad de 51.7 años, con experiencia de 18.8 años y una escolaridad de 7.1 años, 38 % pertenece a una sociedad de apicultores (14), en Chihuahua, tienen una edad de 48.33 años, con 20.67 años de experiencia (9), en Yucatán, la edad promedio es de 58 años, con 28 años de experiencia, 5 años de escolaridad y 75 % pertenecen a una organización (15).

Características de la unidad y proceso de producción de apiarios en la Huasteca Hidalguense. Por lo tanto, el primer componente tiene una asociación con los índices total, sanitario y de sustentabilidad, mientras que el segundo componente se asocia a los índices de manejo y genético del apiario (Fig. 7). Cabe señalar que el índice de manejo alimenticio es variable que se asocia en menor medida con los dos componentes la alimentación de las abejas y el manejo sanitario está relacionado con las ganancias obtenidas por la producción de miel (16). Por ello, el índice sanitario y el de sustentabilidad están asociados a la descripción de las características que presentan los apicultores en la región Huasteca del estado de Hidalgo. El primer componente se encuentra asociado al índice total y al índice de

sanidad, mientras que el segundo componente está asociado al índice de manejo general del apiario (Figura 2), de manera que en el grupo uno se asociaron 32 apicultores, con 68.7 ± 50.5 colmenas, 2.1 ± 1.0 de apiarios y $1,246 \pm 1,174$ Kg año⁻¹; mientras que en el dos se encontraron 46 apicultores con 66.8 ± 65.2 de colmenas, 1.7 ± 1.3 de apiarios y $1,568 \pm 2,140$ Kg de miel año⁻¹. El grupo uno, presentó mejor índice tecnológico ($P < 0.05$), debido a que moviliza más sus colmenas, reutiliza más la cera, revisa en mayor frecuencia las colmenas, utiliza mayor cantidad de alimento proteico (polen, soya y miel) y energético (jarabe de azúcar); utiliza en mayor proporción reinas de criaderos certificados, introduce más enjambres silvestres, administra en mayor proporción tratamiento contra varroa (timol en esponja), sin embargo, el tiempo del tratamiento es menor; en lo referente a la sustentabilidad, la distancia que existe entre los apiarios es mayor, con un uso menor de cantidad de agua natural, con menores intervalos de oferta, con menor duración de la época de floración, menor cantidad de flor y lluvias más intensas (Tabla 2.2 y 2.3). A diferencia de lo encontrado en este estudio, Zavala et al. (17) reportó que en Aguascalientes, al dividir a los apicultores en 3 grupos de acuerdo a la cantidad de colmenas, (I, 20 a 50; II, 51 a 200 y III, 201 o más), el 90 % alimentan con azúcar o fructuosa cuando no hay floración, dando como resultado que la alimentación sea el concepto con mayor costo de producción seguido de la compra de reinas y los medicamentos, con un rendimiento de 25.4 Kg de miel por colmena; al igual que en Jalisco, Contreras-Escareño et al. (18), (I, más de 100; II, de 60 a 100 y III, menos de 50) de los cuales el 96.7 % alimentan para mantener el apiario con jarabe de azúcar, el 41 % realiza movilización de apiarios y cuenta con un rendimiento de 16.73 Kg por colmena y Sánchez-Gómez et al. (13) reportaron como las principales afecciones *Varroa destructor* y *Ahetina tumida* (Pequeño escarabajo de la colmena), con un rendimiento de 30 Kg de miel por colmena, en Yucatán se trabajó con 3 componentes considerando el factor económico el factor técnico y el factor social, de los cuales el 96 % alimenta con azúcar, el 90 % utiliza reinas del mismo apiario, dentro de la presencia de plagas y enfermedades se reportó principalmente el ataque de hormigas (87.8 %), varroasis (31.6 %) y escarabajo (28.1 %) (15), en Chihuahua, se dividieron los apicultores en 3 grupos, (I, pequeños 47 %; II, medianos 42 % y III, grandes 11 %), de los cuales el 90 % realiza manejo alimenticio, el 92.5 % manejo sanitario (84 % control de varroa, 68 % control de plagas y 56 % otras enfermedades), con un índice tecnológico de 3.49 y un rendimiento de 14.8 a 23.15 Kg por colmena (9); en

Guanajuato se dividió a los productores en 3 grupos de los cuales el 41.66 % alimentan con botella de soda, 25 % Miller, 25 % Doolittle y 8.33 % no aplican, 80 % producen reina, 20 % compran reina, 83 % presentan varroa en abeja adulta y el 16 % presentan varroa en abeja adulta o cría operculada, con un rendimiento del 50 % de 11 a 15 Kg de miel por colmena (12); en Tabasco debido a que los productores no hacen cambios de reinas presentaron 100 % de africanización, con una cercanía entre apiarios de 5 Km, obtuvieron una producción de 46.2 Kg de miel por colmena (11).

Conclusión

Los apicultores de la región Huasteca del estado de Hidalgo se caracterizan por ser en su mayoría de una etnia, hablar náhuatl, saber escribir, leer y son hombres entre 47 y 52 años, tener entre 13 y 21 años de experiencia, lo cual denota que en esta región permanece una producción tradicional, sin organización formal, sin embargo, están preocupados por hacer que esta actividad sea sustentable; lo cual permite dividir a los productores de miel en dos grupos de acuerdo al manejo que realizan en sus apiarios, principalmente en el mejoramiento genético, la alimentación y la sanidad (tratamiento y control de varroasis), además de la captura de enjambres silvestres. Por tal motivo es importante que a través de la organización se fortalezca la capacitación, gestión de recursos y comercialización, con la finalidad de mejorar sus índices tecnológicos y con ello la disminución de la incidencia de plagas y enfermedades, elevando la obtención de los productos de la colmena, fortaleciendo la rentabilidad, apoyando a la diversidad de los ecosistemas mediante la polinización, con ello los ingresos y calidad de vida de los apicultores de la zona.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo a los apicultores entrevistados y al personal del Comité Estatal de Fomento y protección Pecuaria del Estado de Hidalgo, A.C. para la realización de las encuestas.

Referencias

1. Outhwaite CL, McCann P, & Newbold T. Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. *Nature*, 2022. 605(7908), 97–102. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04644-x>
2. LeBuhn G, & Vargas Luna J. Pollinator decline: What do we know about the drivers of solitary bee declines? *Current Opinion in Insect Science*, 2021. 46, 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.05.004>
3. May-Itzá WDJ, Martínez-Fortún, S, Zaragoza-Trello C, & Ruiz C. Stingless bees in tropical dry forests: Global context and challenges of an integrated conservation management. *Journal of Apicultural Research*, 2022. 61(5), 642–653. <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2095709>
4. Landaverde R, Rodriguez MT, & Parrella JA. Honey Production and Climate Change: Beekeepers' Perceptions, Farm Adaptation Strategies, and Information Needs. *Insects*, 2023. 14(6), 493. <https://doi.org/10.3390/insects14060493>
5. Zaldívar CJM, Alvarez SGF, Sauri DE, Sol SA, Mosocoso RPA, & Sanchez CXM. The Mexican Beekeeping Agri-food System: A descriptive analysis. *Agro Productividad*. 2024. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i4.2553>
6. SIAP. *Panorama Agroalimentario 2024* (2024th ed.). SIAP. 2025. <https://panorama.agricultura.gob.mx/vista/panorama-agroalimentario.php>
7. Vercelli M, Novelli S, Ferrazzi P, Lentini G, & Ferracini C. A Qualitative Analysis of Beekeepers' Perceptions and Farm Management Adaptations to the Impact of Climate Change on Honey Bees. *Insects*. 2021; 12(3), 228. <https://doi.org/10.3390/insects12030228>
8. Vélez IA, Espinosa GJA, Amaro GR, & Arechavaleta VME. Tipología y caracterización de apicultores del estado de Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2016.,7(4), 507–524. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242016000400507&lng=es.

9. Borja-Bravo, M., Sánchez Toledano, B. I., Vélez Izquierdo, A., Pérez Ruiz, E., & Arellano Arciniega, S. (2025, April 29). Características de los tipos de apicultores en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 16(1), 6543. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v16i4.6543>
10. Castellanos-Potenciano, B. P., Gallardo-López, F., Díaz-Padilla, G., Pérez-Vázquez, A., Landeros-Sánchez, C., & Sol-Sánchez, A. (2015, October). Apiculture in the humid tropics: Socio-economic stratification and beekeeper production technology along the Gulf of Mexico. *Global Journal of Agricultural Economics, Extension and Rural Development*, 3(9), 321–329. https://www.researchgate.net/publication/295856472_Apiculture_in_the_humid_tropics_Socio-economic_stratification_and_beekeeper_production_technology_along_the_Gulf_of_Mexico
11. Gómez-Leyva, J. F., May-Esquivel, F., Vázquez-Hernández, L., Gallegos-González, M., Catzím-Rojas, F. J., & Payro-De la Cruz, E. (2022). Diagnóstico de la apicultura, agroecosistemas y africanización de colonias de *Apis mellifera*, en Comalcalco, Tabasco, México. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 9(1). <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.3158>
12. García-Munguía C, Mireles-Arriaga A, Isiordia-Lachica P, Hernández-Ruiz J. Tipificación de los apicultores de Abasolo, Guanajuato: un estudio socio económico. *Abanico Agroforestal*. 2023; 5: 1-13. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2023.4>
13. Sánchez-Gómez J, Vázquez-Alfaro M, Alaníz-Gutiérrez L, González-Álvarez VH, Saavedra-Jiménez LA. Características y necesidades tecnológicas de los apicultores de la región centro-sur de Jalisco. *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal*. 2022; 32: 1-14. <http://doi.org/10.15174/au.2022.3493>
14. Marín-Gutiérrez BC. Principales características socioeconómicas de la actividad apícola en el municipio de Champotón, Campeche, en el año 2023. *Acta Universitaria*. 2025; 35:1-16. <https://doi.org/10.15174/au.2025.4209>

15. Contreras-Uc LC, Magaña-Maña MA, & Sanginés-García J R. Características técnicas y socioeconómicas de la apicultura en comunidades mayas del Litoral Centro de Yucatán. *Acta Universitaria*. 2018; 28 (1), 77-86. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1390>
16. Al-Ghamdi, A. A., Adgaba, N., Herab, A. H., & Ansari, M. J. (2017). Comparative analysis of profitability of honey production using traditional and box hives. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(5), 1075–1080. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.01.007>
17. Zavala Beltrán JI, López Santiago MA, Valdivia Alcalá R, Montiel Batalla BM. Análisis de la rentabilidad apícola por estratos en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2021; 12(2):453-68. DOI: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5652>
18. Contreras-Escareño F, Pérez AB, Echazarreta CM, Cavazos AJ, Macías-Macías JO, Tapia-González JM. Características y situación actual de la apicultura en las regiones Sur y Sureste de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2013;4(3):387-398. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242013000300009&lng=es.

Anexos capítulo II

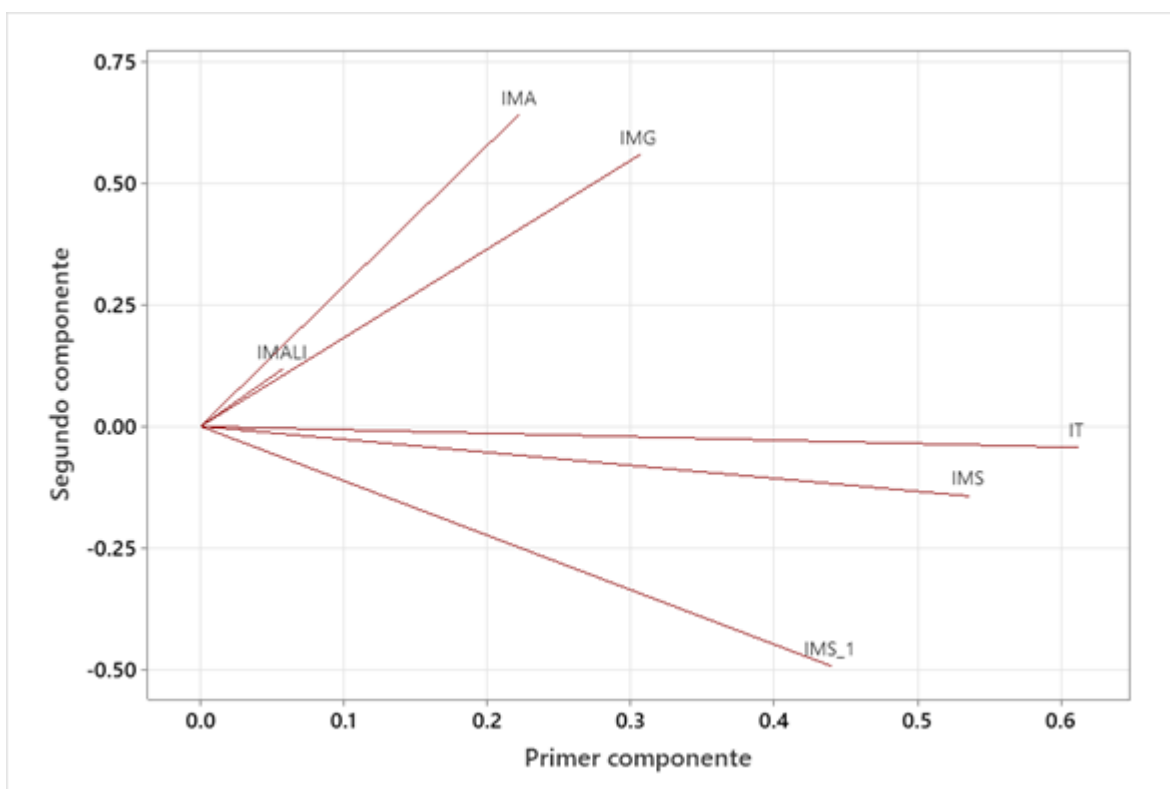


Figura 5 Componentes principales de los índices tecnológicos de productores de miel de la región Huasteca del estado de Hidalgo, México. (IMALI: Índice de manejo alimenticio; IMA: Índice de manejo del apiario; IMG: Índice manejo general; IT: Índice total; IMS: Índice de manejo sanitario; IMS_1: Índice de manejo sustentable). / *Main components of the technological indices of honey producers in the Huasteca region of the state of Hidalgo, Mexico. (IMALI: Feeding management index; IMA: Apiary management index; IMG: General management index; IT: Total index; IMS: Sanitary management index; IMS_1: Sustainable management index).*

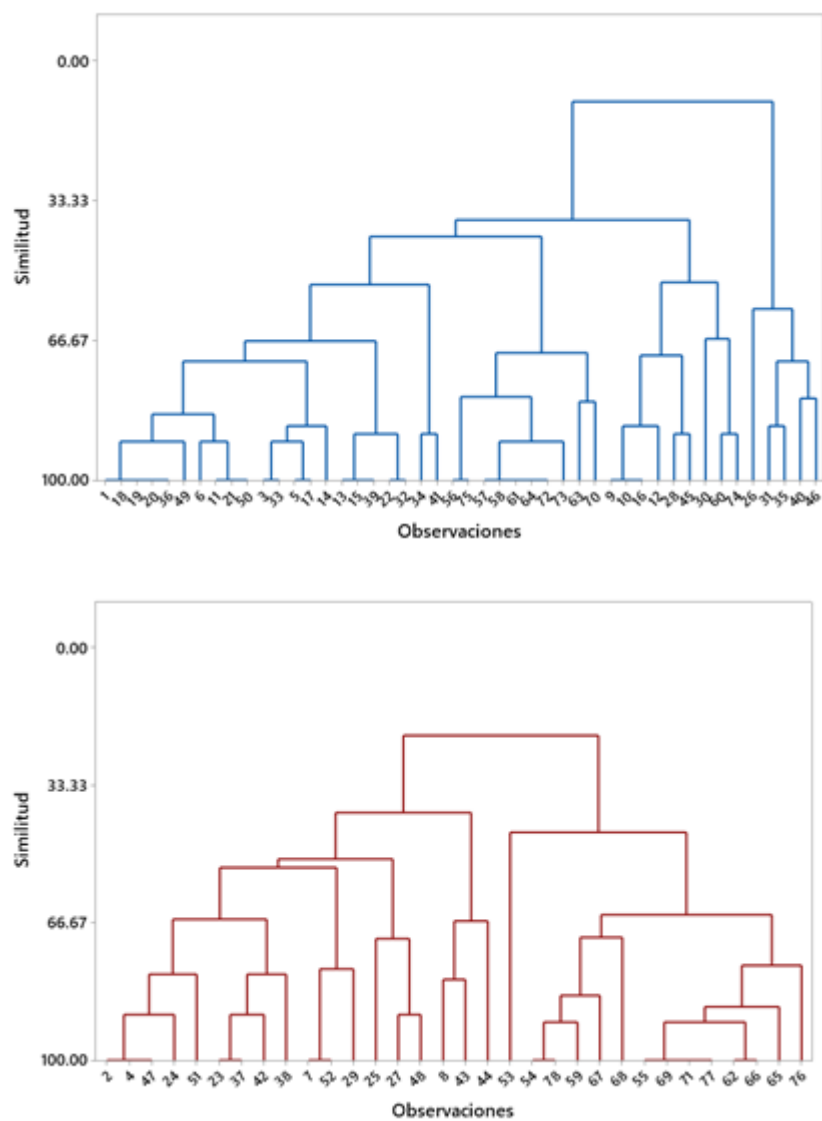


Figura 6 Conglomerados de acuerdo con las características de índices tecnológicos de apicultores de la región Huasteca del estado de Hidalgo, México. / *Clusters according to the characteristics of technological indices of beekeepers in the Huasteca region of the state of Hidalgo, Mexico.*

Tabla 2.1 Variables utilizadas para calcular los índices tecnológicos del manejo del apiario en la Región Huasteca del estado de Hidalgo, México / *Variables used to calculate technological indices for apiary management in the Huasteca Region of the state of Hidalgo, Mexico*

Manejo general	Manejo alimenticio	Manejo genético	Manejo sanitario	Sustentabilidad
Frecuencia de revisión de colmenas	Alimentación energética	Cambio de reina	Diagnóstico de enfermedades	Abejas muertas
Registro de revisiones	Ingrediente energético	Reina de criadero certificado	Apoyo técnico para el diagnóstico	Perdida de colonias más de lo habitual
Cambio de panales viejos	Cantidad de ingrediente	Tiempo de recambio de reina	Varroasis	Comportamiento de la colmena, pillaje
Cuantos panales cambia	Cada cuanto tiempo da ingrediente energético	Reemplazo de reina original	Nosemiasis	Defensividad
Reúso de cera	Alimentación proteica	Introducción de enjambres silvestres	Acariosis	Enjambrazón
Captura de enjambres silvestres	Ingrediente proteico		Loques	Cultivos

Moviliza colmenas	Cantidad de ingrediente	Cría de cal	Uso de fertilizantes
	Cada cuanto tiempo da ingrediente energético	Diagnóstico de campo	Uso de herbicidas
	Uso de probióticos	Aplica tratamiento contra Varroa	Uso de insecticidas
		Tiempo de tratamiento contra varroa	Fuente de agua natural
		Que aplica contra varroa	Suministro de agua
		Forma de aplicación	Cantidad de agua por apiario
		Captura de enjambres silvestres	Intervalo de ofrecimiento de agua
		Realiza movilización de colmenas	Variación en la época de floración

Tabla 2.2 Manejo alimenticio en apiarios de la Huasteca del estado de Hidalgo, México / *Feeding management in apiaries in the Huasteca region of Hidalgo State, Mexico*

Variable	%	%
Ingrediente energético (jarabe, %)	78.13	67.39
Forma de aplicación (esponjas de alcohol, %)	96.8	82.6
Ingrediente proteico (polen, soya, miel, %)	6.25	0
Ingrediente proteico (Levadura, azúcar, miel, %)	0	4.4
Forma en que afecta la época de floración (Se adelanta y menor duración, %)	31.2	17.4
Como cambio la flor (menor cantidad, %)	37.5	45.6
Forma en que afecta la época de lluvia (Se adelanta y es más intensa, %)	12.5	13.0

Tabla 2.3 Características de la unidad y proceso de producción de apiarios en la Huasteca del estado de Hidalgo, México / *Characteristics of the apiary unit and production process in the Huasteca region of Hidalgo State, Mexico*

Índice	Grupo 1	Grupo 2
Manejo del apiario	3.12 ± 0.66^a	2.21 ± 0.55^b
Frecuencia de revisión de colmenas (d)	11.0 ± 3.9	10.8 ± 3.2
Registro de revisiones (%)	71.8	69.5
Cambio de panales viejos (%)	100	93.5

Cuantos panales cambia	2.8 ± 0.9	2.6 ± 1.0
Reúso de cera (%)	78.1 ^a	45.7 ^b
Captura de enjambres silvestres (%)	62.5	13.0
Moviliza colmenas (%)	87.5 ^a	63.0 ^b
Manejo alimenticio	1.12 ± 0.33	1.17 ± 0.43
Alimentación energética (%)	100	97.3
Cantidad de ingrediente (Litros)	1.21 ± 0.97	1.19 ± 0.35
Cada cuanto tiempo da ingrediente energético (días)	8.4 ± 5.1	8.6 ± 4.4
Alimentación proteica (%)	15.6	10.8
Cantidad de ingrediente (mL)	120 ± 27.4 ^a	70 ± 21.1 ^b
Cada cuanto tiempo da ingrediente proteico	9.8 ± 3.0	9.7 ± 3.5
Uso de probióticos (%)	3.1	8.7
Manejo genético	2.65 ± 0.60 ^a	1.78 ± 0.41 ^b
Cambio de reina (%)	96.8	91.3
Reina de criadero certificado (%)	15.6 ^a	2.2 ^b
Tiempo de recambio de reina (Años)	1.1 ± 0.3	1 ± 0
Reemplazo reina original (%)	90.6	76.1
Introducción de enjambres silvestres (%)	62.5 ^a	13.0 ^b
Manejo sanitario	5.62 ± 1.31 ^a	4.63 ± 1.21 ^b

Diagnóstico de enfermedades (%)	100	95.6
Apoyo técnico para el diagnóstico (%)	40.6	32.6
Varroasis (%)	100	100
Nosemiasis (%)	6.25	0
Acariosis (%)	3.1	0
Loques (%)	50.0	39.1
Cría de cal (%)	40.6	43.5
Diagnóstico de campo (%)	62.5	63
Aplica tratamiento contra Varroa (%)	96.8 ^a	82.6 ^b
Tiempo de tratamiento contra varroa (d)	10.4 ± 2.6 ^b	11.8 ± 2.6 ^a
Captura de enjambres silvestres (%)	62.5 ^a	13.0 ^b
Sustentabilidad	2.33 ± 1.83	2.52 ± 1.58
Apiarios cercanos (%)	65.6	45.6
Distancia de otros apiarios (km)	1.36 ± 1.11 ^a	0.74 ± 0.39 ^b
Abejas muertas (%)	31.3	30.4
Perdida de colonias más de lo habitual (%)	25.0	34.8
Comportamiento de la colmena, pillaje (%)	18.8	21.7
Defensividad (%)	21.9	6.5
Enjambrazón (%)	18.8	10.9

Uso de fertilizantes (%)	3.1	4.3
Uso de herbicidas (%)	9.4	4.4
Uso de insecticidas (%)	9.4	4.4
Fuente de agua natural (%)	75.0	89.1
Suministro de agua (%)	43.8 ^a	21.7 ^b
Cantidad de agua por apiario (L)	29.5 ± 28.9 ^b	96.2 ± 76.3 ^a
Intervalo de ofrecimiento de agua	10.8 ± 7.1 ^b	13.1 ± 9.1 ^b
Variación en la época de floración (%)	56.2	71.7
Disminución en la recolección de flor (%)	53.1	63.0
Variación en la época de lluvia (%)	53.1	71.7
Índice Total	2.99 ± 0.63 ^a	2.46 ± 0.49 ^b

^{ab} Las diferencias estadísticas de las variables cualitativas (%) fueron analizadas para diferencias de proporción entre dos muestras mediante el valor de z. Las diferencias estadísticas de las variables cuantitativas se realizó un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar.

CAPÍTULO III

Hidrolatos y aceites esenciales afectan a los ácaros *Varroa destructor* en ensayos *in vitro*

Noé Ríos-Argüelles, Iván Islas-Medina, Gigi Margot Aguilar-Ambrocio, Rafael Montes-Maldonado, Sergio Soto Simental, y Maricela Ayala-Martínez*

Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

Resumen

La apicultura se ve afectada por la infestación de colmenas con ácaros *Varroa destructor*, lo que reduce tanto el rendimiento como la calidad de la miel. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de hidrolatos y aceites esenciales sobre la supervivencia de *V. destructor* mediante ensayos *in vitro*. Se emplearon seis hidrolatos obtenidos de *Lavandula angustifolia*, *Tithonia diversifolia*, *Ruta graveolens*, *Dalbergia palo-escrito*, *Populus alba* y *Retama sphaerocarpa*, así como aceites esenciales de *L. angustifolia* y *Origanum vulgare*. Se analizaron cambios de comportamiento y tasas de supervivencia para determinar su efecto sobre *V. destructor*. Los resultados muestran que los aceites esenciales de *L. angustifolia* y *O. vulgare* a bajas concentraciones (1.25 µL), junto con el hidrolato de flores de *R. sphaerocarpa*, fueron efectivos contra *V. destructor* sin comprometer la supervivencia de las abejas. En conclusión, los aceites esenciales y los hidrolatos representan alternativas para reducir infestaciones de *V. destructor*, destacando el hidrolato de *R. sphaerocarpa* y *T. diversifolia*, así como 4 µL de aceite esencial de *O. vulgare*.

Introducción

La apicultura es una actividad pecuaria importante por su relevancia socioeconómica y ecológica, ya que contribuye a la obtención de divisas (9.5% del valor agrícola mundial) mediante la producción de miel, polen, propóleo y otros productos de la colmena (Schouten, 2021). Además, esta industria desempeña un papel fundamental en el mantenimiento del equilibrio ecológico gracias a la actividad polinizadora (Khalifa et al., 2021).

Las abejas suelen verse afectadas por la varroasis, una enfermedad causada por *Varroa destructor*, un ectoparásito que ataca tanto a abejas adultas como a crías (Traynor et al., 2020). Noël et al. (2020) revisaron el impacto de este ectoparásito a nivel individual y de colonia, reportando disminución del peso corporal en abejas jóvenes. Asimismo, señalaron que *Varroa* interfiere con el vuelo, los procesos neuronales y las respuestas inmunitarias de las abejas, lo que facilita la propagación del parásito a otras colonias y conlleva pérdidas en las poblaciones de abejas melíferas.

Los principales compuestos acaricidas utilizados a nivel mundial para controlar infestaciones de *Varroa* son los piretroides fluvalinato y flumetrina (Yarsan et al., 2024). Sin embargo, el uso inadecuado o indiscriminado de estos acaricidas ha provocado que los ácaros desarrollen resistencia, además de que su aplicación puede contaminar la miel y la cera, representando un riesgo potencial para la salud del consumidor (Mitton et al., 2022). Como alternativa, Bava et al. (2023) propusieron el empleo de aceites esenciales como acaricidas en el control de la varroasis.

La defensa de las plantas frente a agentes patógenos se basa en la producción de metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana y antiparasitaria (Fitch et al., 2022). Existen diversas técnicas para obtener estos metabolitos, siendo una de las más comunes la destilación por arrastre de vapor de hojas, flores, tallos, semillas o raíces para extraer aceites esenciales y generar un subproducto acuoso conocido como hidrolato (Tavares et al., 2022). Ambos tipos de extractos poseen propiedades antibacterianas, antifúngicas y antiparasitarias, relacionadas con la inhibición de la síntesis de componentes esenciales en los microorganismos, y también pueden impedir la fijación y colonización de virus en las células (Sitarek et al., 2020).

Muchas plantas presentan actividades biológicas, como el orégano (*Origanum vulgare* Labiatae), una especie aromática con propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiparasitarias, estrogénicas, insecticidas y antigenotóxicas (Arcila-Lozano et al., 2004). Tavares et al. (2022) revisaron los posibles usos de los hidrolatos, señalando que poseen múltiples propiedades biológicas y potenciales aplicaciones en diferentes industrias; no obstante, se requiere mayor investigación para esclarecer sus efectos.

Existen numerosas plantas de las cuales se pueden obtener hidrolatos, entre ellas el acahual (*Tithonia diversifolia*), una planta herbácea y arbustiva robusta que presenta actividad biológica y capacidad de bioacumulación, además de propiedades antimaláricas, antibacterianas y antifúngicas (Ajao y Moteetee, 2017). Asimismo, se ha demostrado que la ruda (*Ruta graveolens*) posee propiedades antimicrobianas y antioxidantes, atribuibles a su riqueza en metabolitos secundarios como cumarinas, alcaloides, aceites volátiles, flavonoides y ácidos fenólicos, responsables de diversos efectos biológicos (França-Orlanda et al., 2015; Pushpa et al., 2015). Por su parte, la lavanda inglesa (*Lavandula angustifolia*) ha sido reportada con propiedades insecticidas, antibacterianas y antivirales (Basch et al., 2014). El álamo (*Populus alba*) ha mostrado tener actividad

antimicrobiana (Sosa Castañeda et al., 2022), y algunas especies de *Dalbergia* contienen flavonoides y sesquiterpenos con efectos antioxidantes y antibacterianos (Singh et al., 2017).

Existe amplia información sobre el uso de aceites esenciales obtenidos de distintas plantas (Bava et al., 2023), pero los datos sobre la utilización de hidrolatos son limitados. En este estudio se comparan extractos vegetales previamente utilizados contra *Varroa*, mientras que la mayoría de los hidrolatos aquí evaluados no habían sido aplicados en el control de la varroasis. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de hidrolatos y aceites esenciales obtenidos de diversas plantas aromáticas sobre *V. destructor* mediante pruebas in vitro, con la finalidad de proponer tratamientos alternativos para mitigar la varroasis.

Materiales y métodos

Origanum vulgare (Labiatae) fue recolectado en Mineral del Chico (20°12'53" N, 98°43'50" O), mientras que *Ruta graveolens*, *Dalbergia palo-escrito*, *Tithonia diversifolia* y *Populus alba* se obtuvieron en Tulancingo de Bravo (20°5'9" N, 98°21'48" O). *Lavandula angustifolia* fue recolectada en Mineral de la Reforma (20°2'44.68" N, 98°43'15.88" O), en Hidalgo, México.

Para obtener aceites esenciales e hidrolatos de todas estas plantas, se secaron las partes aéreas a temperatura ambiente, protegidas de la luz solar (condiciones ambientales: 23 °C, 35% de humedad relativa) durante cinco días. Posteriormente, las muestras fueron molidas en un molino Swissmex SW610350 (Swissmex-Rapid, Lagos de Moreno, Jalisco, México); el polvo obtenido no fue tamizado.

El material pulverizado se utilizó para hidrodestilación con un aparato Niang (Dongguan Niangge Machinery Equipment Co., Beijing, China). Cada muestra de polvo se colocó en el equipo (50 g L⁻¹) durante 4 h a 90 °C, con lo cual se obtuvieron tanto hidrolatos como aceites esenciales.

Pruebas In vitro

Todos los experimentos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición del Instituto de Ciencias Agropecuarias, bajo condiciones ambientales de 24 °C y 50% de humedad relativa. Para cada ensayo, se recolectaron aproximadamente 500 abejas obreras vivas (*Apis mellifera*) y 5 panales con cría operculada y no operculada, provenientes de 5 colmenas distintas en un apiario localizado en Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México (20°5'9" N, 98°21'48" O).

El nivel de infestación por *Varroa destructor* se determinó mediante la prueba de Jong (De Jong et al., 1982) para estimar la carga parasitaria en la población de abejas. Los experimentos se realizaron siguiendo lo descrito por Mahmood et al. (2014). En resumen, tres abejas adultas (*A. mellifera*) y tres ácaros *V. destructor* se colocaron en cajas Petri de vidrio (90 × 15 mm) con sus respectivos tratamientos (2 mL de cada extracto). Los hidrolatos, aceites esenciales o sustancias utilizadas en

los Ensayos 1–4 fueron previamente incorporados en las placas. En el Ensayo 5, las placas se acondicionaron con un alimentador que contenía 1 mL de miel diluida 1:1 con agua destilada y se incubaron a 35 °C durante 72 h, registrándose observaciones a las 24, 48 y 72 h para determinar la tasa de supervivencia de las abejas y de los ácaros.

Se llevaron a cabo cinco ensayos in vitro, incluyendo dos de evaluación cualitativa:

- **Ensayo 1.** Se aplicaron siete tratamientos: sin alcohol, alcohol etílico al 70°, 0.5 g L⁻¹ de timol, y 1.25, 2.5, 5 y 10 µL mL⁻¹ de aceite esencial de *O. vulgare*, con tres repeticiones.
- **Ensayo 2 (cualitativo).** Se evaluaron 12 tratamientos: sin alcohol, alcohol etílico al 70°, 0.5 g mL⁻¹ de timol evaporado, 0.5 g L⁻¹ de timol en esponja, 0.5, 1 y 2 µL de aceite esencial de *O. vulgare*, así como 12.5, 25, 50 y 100 µL mL⁻¹ de hidrolato de *O. vulgare*.
- **Ensayo 3 (cuantitativo).** Se probaron 18 tratamientos: sin alcohol, alcohol etílico al 70°, 0.5 g L⁻¹ de timol, 1 mg de fluvalinato, 0.675 y 1.25 µL mL⁻¹ de aceite esencial de *O. vulgare*, además de 25, 50 y 100 µL mL⁻¹ de hidrolatos de *O. vulgare*, *R. graveolens*, *D. palo-escrito* y *T. diversifolia*.
- **Ensayo 4 (cuantitativo).** Se evaluaron 16 tratamientos: sin alcohol, alcohol etílico al 70°, 1 mg de fluvalinato, 0.5 g L⁻¹ de timol, 0.5, 1 y 2 µL mL⁻¹ de aceite esencial de *O. vulgare*, además de 25, 50 y 100 µL mL⁻¹ de hidrolatos de *O. vulgare*, *P. alba* y *T. diversifolia*.
- **Ensayo 5 (cuantitativo).** Se aplicaron 15 tratamientos: sin alcohol, alcohol etílico al 70°, 1 mg de fluvalinato, 0.5 g L⁻¹ de timol, 0.312 µL mL⁻¹ de aceite esencial de *O. vulgare*, 0.650 µL mL⁻¹ de aceite esencial de *Lavandula angustifolia*, y 100 µL mL⁻¹ de hidrolatos de *L. angustifolia*, *P. alba*, *O. vulgare*, *T. diversifolia*, *R. sphaerocarpa* (flores, hojas, vainas y tallos), así como de *R. graveolens*.

Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

El comportamiento de las abejas se evaluó mediante observación visual, registrando individuos vivos o muertos, y anotando si la abeja o el ácaro se encontraba tranquila, agresiva, alimentándose o mostrando otros comportamientos. Se consideró que un individuo estaba muerto si, al abrir la caja de Petri, permanecía inmóvil y no respondía a la estimulación con un pincel.

La tasa de supervivencia de abejas y ácaros se determinó como el número de individuos vivos dividido entre el número total de individuos, expresado por cada 100 abejas o ácaros.

Análisis estadístico

Los dos primeros ensayos fueron descriptivos, utilizando variables cualitativas. Los ensayos tres, cuatro y cinco se realizaron bajo un diseño completamente al azar. Posteriormente, se llevó a cabo

un análisis de varianza siguiendo el procedimiento de un modelo lineal general, seguido de la prueba de Fisher para identificar diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \epsilon_{ij}$$

donde:

- Y_{ij} = variable dependiente,
- μ = media de la variable,
- β_i = efecto fijo de la i -ésima abeja o ácaro en el grupo,
- ϵ_{ij} = error experimental asociado con la observación Y_{ij}

Todos los análisis se realizaron utilizando **Minitab versión 20.3**.

Resultados

Antes de realizar los ensayos *in vitro*, se llevó a cabo una prueba de Jong para confirmar la presencia de infestación por Varroa. Los resultados del Ensayo 1 se muestran en la Tabla 3.1. La exposición a 10 y 20 μL de aceite esencial de *O. vulgare* tuvo un efecto perjudicial en las abejas: estas exhibieron comportamiento agresivo inmediatamente después de la exposición y murieron en cuestión de minutos, acompañado de un oscurecimiento del cuerpo. Después de 24 h, se observaron efectos similares con 5 μL de aceite esencial de *O. vulgare*. En contraste, las abejas tratadas con timol, alcohol etílico o 2.5 μL de aceite esencial de *O. vulgare* mostraron un comportamiento normal, permaneciendo tranquilas y alimentándose.

En el Ensayo 2, los resultados mostraron que la inclusión de aceite esencial de *O. vulgare* en concentraciones de 0.5, 1, 2 y 4 μL permitió que las abejas permanecieran vivas hasta las 72 h, mientras que *V. destructor* murió dentro de las 24 h. En contraste, cuando se aplicó hidrolato de *O. vulgare* a concentraciones de 25, 50, 100 y 200 μL , las abejas también sobrevivieron hasta las 72 h, mientras que *V. destructor* murió después de 72 h, lo que indica que este hidrolato tiene un efecto menos pronunciado sobre *V. destructor* (Tabla 3.2).

En el Ensayo 3, el tratamiento con 2.5 μL de aceite esencial de *O. vulgare* tuvo el mayor efecto ($P < 0.05$) en la supervivencia de las abejas, seguido por los tratamientos con fluvalinato, 200 μL de hidrolato de *D. palo-escrito* y timol (Tabla 3.3). Este tratamiento mostró tasas de supervivencia similares ($P > 0.05$) a las obtenidas con hidrolatos de *O. vulgare* y *R. graveolens*, presentando mayores tasas de supervivencia ($P < 0.05$) que con 1.25 μL de aceite esencial de *O. vulgare* y que con hidrolatos de *T. diversifolia* a concentraciones de 50, 100 y 200 μL . Respecto a *V. destructor*, su

tasa de supervivencia fue menor con fluvalinato y aceite esencial de *O. vulgare*, seguido por timol y 50 µL de hidrolatos de plantas aromáticas, mientras que las mayores tasas de supervivencia se registraron con 200 µL de hidrolatos de plantas aromáticas (*O. vulgare*, *T. diversifolia*, *D. palo-escrito* y *R. graveolens*).

Tabla 3.1 Comportamiento de *A. mellifera in vitro* tras la exposición al aceite esencial de *Origanum vulgare*

Tratamiento	Observación de las abejas (0 h)	24 h
Sin alcohol	Tranquilas, alimentándose	Vivas, comportamiento normal
Alcohol 70°	Tranquilas, alimentándose	Vivas, comportamiento normal
Timol evaporado	Tranquilas, alimentándose	Vivas, comportamiento normal
2.5 µL	Tranquilas, alimentándose	Vivas, comportamiento normal
5 µL	Tranquilas, alimentándose	Todas las abejas murieron
10 µL	Color negro, agresivas y muertas	Todas las abejas murieron
20 µL	Color negro, agresivas y muertas	Todas las abejas murieron

Tabla 3.2 Comportamiento de *A. mellifera* y *V. destructor in vitro* tras la exposición al aceite esencial e hidrolato de *Origanum vulgare*.

Tratamiento	24 h (Abeja)	24 h (Varroa)	48 h (Abeja)	48 h (Varroa)	72 h (Abeja)	72 h (Varroa)
Sin alcohol	A	A	A	A	A	A
Timol evaporado	A	D	A	D	A	D
Timol en esponja	A	D	A	D	A	D
Alcohol 70°	A	A	A	A	A	A

Aceite esencial <i>O. vulgare</i> 0.5 µL	A	D	A	D	A	D
Aceite esencial <i>O. vulgare</i> 1 µL	A	D	A	D	A	D
Aceite esencial <i>O. vulgare</i> 2 µL	A	D	A	D	A	D
Aceite esencial <i>O. vulgare</i> 4 µL	A	D	A	D	A	D
Hidrolato <i>O. vulgare</i> 25 µL	A	A	A	A	A	D
Hidrolato <i>O. vulgare</i> 50 µL	A	A	A	A	A	D
Hidrolato <i>O. vulgare</i> 100 µL	A	A	A	A	A	D
Hidrolato <i>O. vulgare</i> 200 µL	A	A	A	A	A	D

A= Vivas D= Muertas

Los resultados del Ensayo 4 se presentan en la Tabla 3.4. A las 72 h, el fluvalinato redujo significativamente ($P<0.05$) la tasa de supervivencia de *V. destructor* hasta en un 11%, pero también afectó negativamente la supervivencia de *A. mellifera* hasta en un 22%. Un patrón similar se observó con 2 y 4 µL de aceite esencial de *O. vulgare*. En contraste, la exposición a timol y a 200 µL de hidrolatos de *O. vulgare*, *P. alba* y *T. diversifolia* redujo la supervivencia de *V. destructor* sin afectar a *A. mellifera*.

En el Ensayo 5, los resultados muestran que, a las 72 h, el fluvalinato eliminó eficazmente a *V. destructor*, mientras que el timol, 1.25 µL de aceite esencial de *O. vulgare* y 200 µL de hidrolato de flores de *R. sphaerocarpa* fueron igualmente efectivos contra el ácaro, sin afectar a las abejas (Tabla 3.5).

Discusión

El control de *V. destructor* es crucial debido a que esta plaga constituye una de las principales barreras para mantener una apicultura rentable. Una estrategia prometedora consiste en el uso de extractos naturales obtenidos de plantas. Topal et al. (2020) demostraron su potencial en el control de enfermedades; sin embargo, es importante considerar que incluso los productos naturales pueden ejercer efectos tóxicos en las abejas melíferas. Nuestras observaciones corroboraron este riesgo: la exposición al aceite esencial de *O. vulgare* en concentraciones de 5, 10 y 20 µL resultó en un 100%

de mortalidad en las abejas (Tabla 3.1). Este efecto probablemente se atribuye a compuestos bioactivos como timol, carvacrol u otros terpenoides, que contribuyen a la inactivación de los ácaros, aunque algunos como el linalool actúan sin causar toxicidad en las abejas.

Tabla 3.3 Tasas de supervivencia *in vitro* de *A. mellifera* y *V. destructor* tras la exposición a diferentes plantas aromáticas.

Tratamiento	Supervivencia % Abejas	Supervivencia % <i>Varroa destructor</i>
Sin alcohol	100.00a	100.00a
Alcohol 70°	91.67a	100.00a
Timol	86.67ab	42.33b
Fluvalinato	66.67bc	0.00 d
Aceite esencial de <i>O. vulgare</i>, µL		
1.25	100.00a	6.67d
2.5	58.33d	3.67d
Hidrolato de <i>O. vulgare</i>, µL		
50	83.33b	46.67b
100	85.00b	33.33c
200	85.00b	26.67c
Hidrolato de <i>T. diversifolia</i>, µL		
50	100.00a	60.00b
100	100.00a	33.33c

200	100.00a	26.67c
Hidrolato de <i>D. palo-escrito</i>, µL		
50	85.00b	60.00b
100	78.33bc	33.33c
200	73.33cd	26.67c
Hidrolato de <i>R. graveolens</i>, µL		
50	93.33a	53.33b
100	78.33bc	40.00bc
200	64.00b	33.00c
SEM	12.19	13.41

Entre los componentes que eliminan artrópodos destacan los monoterpenos, presentes en las esencias volátiles de aceites esenciales e hidrolatos. Su capacidad para afectar a los ácaros está vinculada con una actividad neurotóxica mediante la inhibición de la acetilcolinesterasa y la acción antagonista sobre receptores octopaminérgicos (Gimenez-Martínez et al., 2022). Los productos obtenidos por hidrodestilación de plantas aromáticas a diferentes concentraciones tienen un efecto menos pronunciado en la fisiología de las abejas (Bava et al., 2023).

Tabla 3.4 Tasas de supervivencia *in vitro* de *A. mellifera* y *V. destructor* tras la exposición a aceite esencial de *O. vulgare* y a hidrolatos de *O. vulgare*, *P. albus* y *T. diversifolia*.

Tratamiento	% Tasas de supervivencia – <i>A. mellifera</i>			% Tasas de supervivencia – <i>Varroa destructor</i>		
	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
Sin alcohol	89.66a	78.00a	78.00a	77.66a	66.66ab	66.66ab
Alcohol 70°	89.00a	89.00a	89.00a	78.00a	67.00ab	61.33ab
Timol	80.66a	69.66a	69.66a	66.66a	66.66ab	66.66ab
Fluvalinato	77.66b	22.00b	22.66b	11.00b	11.00b	11.00b
Aceite esencial de <i>O. vulgare</i>, µL						
1	89.00a	89.00a	89.00a	41.66a	33.33b	33.33b
2	78.00a	33.33b	33.33b	11.00b	11.00b	11.00b
4	38.66b	30.33b	30.33b	0.00b	0.00b	0.00b
Hidrolato de <i>O. vulgare</i>, µL						
50	100.00a	100.00a	100.00a	89.00a	55.66ab	55.66ab
100	100.00a	78.00a	78.00a	89.00a	22.33b	11.00b
200	78.00a	77.00a	77.00a	55.66a	22.00b	11.00b
Hidrolato de <i>P. albus</i>, µL						
50	100.00a	100.00a	100.00a			

En el Ensayo 3, se registró un 100% de supervivencia en abejas tratadas con aceite esencial de *O. vulgare* a 1.25 μ L, así como con hidrolatos de *T. diversifolia* en concentraciones de 50, 100 y 200 μ L. Estos valores fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) que los observados con fluvalinato y aceite esencial de *O. vulgare* a 2.5 μ L. Aunque diversos estudios han analizado los efectos de los aceites esenciales en artrópodos, Park y Tak (2016) señalaron que su modo de acción sobre insectos plaga involucra efectos neurotóxicos, bloqueo de hormonas del crecimiento o muerte por acción de aceites lipofílicos. En este sentido, se observaron efectos neuronales tanto en abejas como en ácaros *V. destructor*. La toxicidad también puede afectar el proceso respiratorio del ácaro, y algunos monoterpenos inhiben la acetilcolinesterasa (Umpierrez et al., 2011). Es posible que compuestos volátiles de plantas, como el ácido fórmico, interfieran en la cadena respiratoria celular de *V. destructor* (Vilarem et al., 2021).

Los compuestos orgánicos volátiles son ampliamente utilizados en la naturaleza por diversos organismos debido a sus funciones de atracción, repulsión, toxicidad y desorientación. El sistema olfativo actúa como un sensor biológico (Conchou et al., 2019) con una influencia crítica en el comportamiento del parásito, lo que permite a *V. destructor* reconocer diferentes etapas de desarrollo de las abejas (Ruffinengo et al., 2014). Este ácaro puede diferenciar entre abejas pecoreadoras y nodrizas únicamente por el olor; por lo tanto, alterar su orientación modifica su comportamiento y representa una vía potencial para el control directo. Sin embargo, estas mismas sustancias volátiles podrían interferir en el sistema nervioso central de *A. mellifera*, ya que sus antenas y órganos sensoriales-olfativos contienen receptores nerviosos (Blenau et al., 2012).

De manera consistente con nuestros hallazgos, Pohorecka (2004) informó que la aplicación de aceite esencial de *O. vulgare* produjo más del 80% de mortalidad en abejas melíferas. Glavan et al. (2020) evidenciaron que carvacrol al 5% y timol al 1% resultaron en 100% y 45% de mortalidad, respectivamente. Asimismo, Albo et al. (2003) reportaron toxicidad oral aguda en abejas adultas causada por aceites esenciales *in vitro*, con las mayores tasas de mortalidad observadas con 5, 3, 2 y 8 μ g por abeja para ajedrea, tomillo, citronela y orégano, respectivamente. No obstante, Lin et al. (2019) encontraron que, incluso a la dosis máxima, los aceites vegetales solo inducían aproximadamente un 20% de mortalidad en abejas.

En el Ensayo 2, las tasas de supervivencia de *A. mellifera* no se vieron afectadas cuando se redujeron las dosis de aceite esencial de *O. vulgare*, aunque el efecto acaricida se observó hasta las 24 h. Aun cuando este ensayo no midió el porcentaje de mortalidad, Romo-Chacón et al. (2016) hallaron que la eficacia del aceite esencial puro de orégano en dosis de 1.16 y 1.5 μ L osciló entre 57% y 74%, lo que sugiere que dicho aceite puede ser una alternativa viable a los acaricidas convencionales en el control de *V. destructor*. En este sentido, el uso de hidrolatos de *O. vulgare* merece consideración, ya que no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto al aceite

esencial: *A. mellifera* sobrevivió hasta 72 h, mientras que la supervivencia de *V. destructor* se redujo, lo que demuestra que los hidrolatos pueden actuar más lentamente. Respaldando esto, Iglesias et al. (2022) reportaron que los hidrolatos de *Humulus lupulus* pueden afectar a *V. destructor*, probablemente debido a su composición química, como β -cariofileno.

Tabla 3.5 Tasas de supervivencia *in vitro* de abejas *A. mellifera* y de *Varroa destructor* tras la exposición a aceites esenciales de *O. vulgare* y *L. angustifolia*, e hidrolatos de *P. albus*, *T. diversifolia*, *R. sphaerocarpa*, *R. graveolens*, *L. angustifolia* y *O. vulgare*.

Tratamiento	% Supervivencia – <i>A. mellifera</i>			% Supervivencia – <i>Varroa destructor</i>		
	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
Sin alcohol	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a
Alcohol 70°	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a	100.00a
Timol	100.00a	100.00a	100.00a	0.00c	0.00c	0.00c
Fluvalinato	88.88a	11.11d	0.00c	0.00c	0.00c	0.00c
Aceite esencial (1.25 μL)						
<i>O. vulgare</i>	100a	88.88ab	88.88a	11.11de	0.00c	0.00c
<i>L. angustifolia</i>	100a	88.88ab	66.66ab	44.44bc	0.00c	0.00c
Hidrolato (200 μL)						
<i>R. sphaerocarpa</i> flor	100a	100a	100a	0.00c	0.00c	0.00c
<i>R. sphaerocarpa</i> hoja	88.88a	88.88b	77.77ab	44.44bc	0.00c	0.00c

<i>R. sphaerocarpa</i> tallo	100a	100a	66.66ab	66.66b	0.00c	0.00c
<i>R. sphaerocarpa</i> vaina	100a	88.88ab	55.55b	33.33cd	0.00c	0.00c
<i>R. graveolens</i>	100a	77.77bc	77.77ab	66.66b	33.00c d	0.00c
<i>O. vulgare</i>	66.66b	66.66c	66.66ab	55.55bc	33.00c d	0.00c
<i>L. angustifolia</i>	100a	100a	100a	66.66b	66.00b	0.00c
<i>Populus alba</i>	88.88a	88.88ab	33.33bc	55.55bc	44.44b c	33.33b
<i>Tithonia</i> <i>diversifolia</i>	100a	100a	33.33bc	0.00c	0.00c	0.00c

En el Ensayo 4, se evidenció que los aceites esenciales e hidrolatos afectaron a *V. destructor* en concentraciones seguras para las abejas bajo condiciones *in vitro*. Pătruică et al. (2023) evaluaron los efectos *in vitro* de extractos de manuka, menta, orégano, litsea y canela sobre la mortalidad de ácaros y abejas, demostrando que cada sustancia activa debe ser evaluada cuidadosamente, ya que los compuestos fitoquímicos presentes pueden afectar a las abejas. En este sentido, el Ensayo 5 identificó concentraciones adecuadas que eliminaron a *V. destructor* sin comprometer la supervivencia de las abejas. Estos resultados coinciden con Neira et al. (2004), quienes evaluaron aceites esenciales de lavanda y laurel y reportaron un 100% de desprendimiento de ácaros de su hospedador *A. mellifera*, con una disminución del 25% en la supervivencia de *V. destructor*, sin afectar la supervivencia de las abejas.

No obstante, numerosos factores pueden influir en la eficiencia del tratamiento, incluyendo la concentración, el método de aplicación, la duración del tratamiento y las condiciones ambientales de la colonia. Reducir el uso de sustancias químicas es esencial, ya que el aumento en la resistencia de *V. destructor* también amenaza las tasas de supervivencia de las abejas. En este contexto, bajas concentraciones de aceites esenciales de *O. vulgare* y *L. angustifolia*, así como el hidrolato de flores de *R. sphaerocarpa*, parecen ser las opciones más efectivas contra *V. destructor* sin afectar negativamente a las abejas. Este estudio representa una investigación exploratoria, que sienta las bases para la identificación de nuevos compuestos en los hidrolatos de algunas de las plantas evaluadas y, en última instancia, propone nuevas estrategias para el control de *V. destructor*.

Conclusión

Los aceites esenciales e hidrolatos, en particular los hidrolatos de flores de *R. sphaerocarpa* y de *T. diversifolia*, así como 4 µL de aceite esencial de *O. vulgare*, muestran un potencial prometedor como tratamientos alternativos para reducir las infestaciones de *V. destructor*. Sin embargo, se requiere más investigación para optimizar los métodos de aplicación que garanticen un uso seguro y eficaz dentro de las colmenas.

Agradecimientos

Al personal del Instituto de Ciencias Agropecuarias (México) por su colaboración en el desarrollo de este proyecto. Un agradecimiento especial al apicultor I.N. Rangel Jurado por proporcionar las abejas y los ejemplares de *Varroa*.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: Noe Ríos-Argüelles, Iván Islas-Medina, Gigi Margot Aguilar-Ambrocio, Rafael Montes-Maldonado, Sergio Soto Simental y Maricela Ayala-Martínez.

Metodología: Noe Ríos-Argüelles, Iván Islas-Medina, Gigi Margot Aguilar-Ambrocio, Rafael Montes-Maldonado, Sergio Soto Simental y Maricela Ayala-Martínez.

Resultados y discusión: Noe Ríos-Argüelles, Sergio Soto Simental y Maricela Ayala-Martínez.

Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del manuscrito antes de su envío.

Ajao, A.A., and A.N. Moteetee. 2017. *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. (Asteraceae: Heliantheae), an invasive plant of significant ethnopharmacological importance: A review. S. Afr. J. Bot. 113:396-403. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.09.017> [Links]

Albo, G., C. Henning, J. Ringuelet, F. Reynaldi, M. De Giusti, and A. Alippi. 2003. Evaluation of some essential oils for the control and prevention of American Foulbrood disease in honey bees. Apidologie 34:417- 27. <https://doi.org/10.1051/apido:2003040> [Links]

Arcila-Lozano, C.C., G. Loarca-Piña, S. Lecona-Uribe, and E. González de Mejía. 2004. Oregano: properties, composition and biological activity. Arch. Latinoam. Nutr.

54(1):100-111. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222004000100015&script=sci_abstract&tlng=en [Links]

Basch, E., I. Foppa , R. Liebowitz, J. Nelson, M. Smith, D. Sollars, and C. Ulbricht. 2014. Lavender (*Lavandula angustifolia* Miller). J. Herb. Pharmacother. 4(2):63-78. https://doi.org/10.1080/J157v04n02_07 [Links]

Bava, R., F. Castagna, E. Palma, M. Marrelli, F. Conforti, V. Musolino, C. Carresi, C. Lupia, C. Ceniti, and B. Tilocca. 2023. Essential oils for a sustainable control of honeybee varroosis. Vet. Sci. 10(5):308. <https://doi.org/10.3390/vetsci10050308> [Links]

Blenau, W., E. Rademacher, and A. Baumann. 2012. Plant essential oils and formamidines as insecticides/acaricides: what are the molecular targets? Apidologie 43: 334-347. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0108-7> [Links]

Conchou, L., P. Lucas, C. Meslin, M. Proffit, M. Staudt, and M. Renou. 2019. Insect odor scapes: from plant volatiles to natural olfactory scenes. Front. Physiol. 10:972. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00972> [Links]

De Jong, D., R.A. Morse, and G.C. Eickwort. 1982. Mite pests of honey bees. Annu. Rev. Entomol. 27(1): 229-252. [Links]

Fitch, G., L.L. Figueroa, H. Koch, P.C. Stevenson, and L.S. Adler. 2022. Understanding effects of floral products on bee parasites: mechanisms, synergism, and ecological complexity. IJP:PAW 17:244-256. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2022.02.011> [Links]

França-Orlanda, J.F., and A.R. Nascimento. 2015. Chemical composition and antibacterial activity of *Ruta graveolens* L. (Rutaceae) volatile oils, from Sao Luís, Maranhao, Brazil. S. Afr. J. Bot . 99:103-106. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.03.198> [Links]

Giménez-Martínez, P., C. Ramirez, G. Mitton, F. Meroi Arcerito, F. Ramos, H. Cooley, S. Fuselli, and M. Maggi. 2022. Lethal concentrations of *Cymbopogon nardus* essential oils and their main component citronellal on *Varroa destructor* and *Apis mellifera*. Exp. Parasitol. 238:108279. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2022.108279> [Links]

Glavan, G., S. Novak, J. Bozic, and A.J. Kokalj. 2020. Comparison of sublethal effects of natural acaricides carvacrol and thymol on honeybees. Pestic. Biochem. Phys. 166: 104567. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104567> [Links]

Iglesias, A.E., G. Fuentes, G. Mitton , F. Ramos , C. Brasesco, R. Manzo, M. Maggi . 2022. Hydrolats from *Humulus lupulus* and their potential activity as an organic control for *Varroa destructor*. Plants 11(23): 3329. <https://doi.org/10.3390/plants11233329> [Links]

Khalifa, S.A., E.H. Elshafiey, A.A. Shetaia, A.A.A. El-Wahed, A.F. Algethami, S.G. Musharraf, M.F. AlAjmi, C. Zhao, S.H.D. Masry, and M.M. Abdel-Daim. 2021. Overview of bee pollination and its economic value for crop production. Insects 12(8):688. <https://doi.org/10.3390/insects12080688> [Links]

Lin, Z., X. Su, S. Wang, T. Ji, F.L. Hu, and H.Q. Zheng. 2020. Fumigant toxicity of eleven Chinese herbal essential oils against an ectoparasitic mite (*Varroa destructor*) of the honey bee (*Apis mellifera*). J. Apic. Res. 59(2):204-210. <https://doi.org/10.1080/00218839.2019.1688493> [Links]

Mahmood, R., S. Asad, S. Raja, A. ul Moshin, E.S. Wagchoure, G. Sarwar, N. Islam, and W. Ahmad. 2014. Control of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) by using plant oils and extract. Pak. J. Zool. 46(3):609-615. [https://zsp.com.pk/vol-46\[3\].html](https://zsp.com.pk/vol-46[3].html) [Links]

Mitton, G. A., F. Meroi Arcerito , H. Cooley , G. Fernández de Landa, M.J. Eguaras, S.R. Ruffinengo, and M.D. Maggi. 2022. More than sixty years living with *Varroa destructor*: a review of acaricide resistance. Int. J. Pest Manag. 1-18. <https://doi.org/10.1080/09670874.2022.2094489> [Links]

Neira, M., P. Heinsohn, A. Báez, y J. Fuentealba. 2004. Efecto de aceites esenciales de lavanda y laurel sobre el ácaro *Varroa destructor* Anderson & Truemann (Acari: Varroidae). Agricultura Técnica 64(3): 238-244. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072004000300003> [Links]

Noel, A., Y. Le Conte, and F. Mondet. 2020. *Varroa destructor*: how does it harm *Apis mellifera* honey bees and what can be done about it? Emerg. Top. Life Sci. 4(1):45-57. <https://doi.org/10.1042/ETLS20190125> [Links]

Park, Y.L., and J.H. Tak. 2016. Essential oils for arthropods pest management in agricultural production systems. In: V.R. Preedy (Ed.). Essential oils in food preservation, flavor and safety. Academic Press., London UK. p. 61-70. [Links]

- Patruica, S., R.N. Lazar, G. Buzamat, and M. Boldea. 2023. Economic benefits of using essential oils in food stimulation administrated to bee colonies. *Agriculture* 13(3):594. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030594> [Links]
- Pohorecka, K. 2004. Effect of standardized plant herb extracts on general condition of the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Bull. Vet. Inst. Pulawy.* 48:415-419. <https://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-article-8ef20494-8e34-4b55-bff4-0c84a9b41255> [Links]
- Pushpa, H., N. Ramya-Shree, S.P. Shetty, and D.H. Ramesh. 2015. Screening of antimicrobial, antioxidant and anticancer activity of *Ruta graveolens*. *Adv. Biol. Res.* 9(4): 257-264. [http://www.idosi.org/abr/9\(4\)15/8.pdf](http://www.idosi.org/abr/9(4)15/8.pdf) [Links]
- Reams, T., and J. Rangel. 2022. Understanding the enemy: a review of the genetics, behavior and chemical ecology of *Varroa destructor*, the parasitic mite of *Apis mellifera*. *J. Insect. Sci.* 22(1):18. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab101> [Links]
- Romo-Chacón, A., L.J. Martínez-Contreras, F.J. Molina-Corral, C.H. Acosta-Muñiz, C. Ríos- Velasco, A.P. de León-Door, and R. Rivera. 2016. Evaluation of oregano (*Lippia berlandieri*) essential oil and entomopathogenic fungi for *Varroa destructor* control in colonies of honey bee, *Apis mellifera*. *Southwest. Entomol.* 41(4): 971-982. <https://doi.org/10.3958/059.041.0427> [Links]
- Ruffinengo, S.R., M.D. Maggi , S.R. Fuselli, F.G. de Piano, P. Negri, M. C. Brasesco , A. Satta, I. Floris, and M.J. Eguaras . 2014. Bioactivity of microencapsulated essentials oils on the ectoparasitic mite *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) and perspectives of their use in the control of Varroosis. *Bull. Insectology* 67 (1): 81-86. <https://doi.org/10.3390/ijms21145105> [Links]
- Schouten, C.N. 2021. Factors influencing beekeepers income, productivity and welfare in developing countries: a scoping review. *J. Apic. Res.* 60(2):204-219. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1844464> [Links]
- Singh, B., J.P. Singh, A. Kaur, and N. Singh. 2017. Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food Res. Int.* 101:1-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.026> [Links]
- Sitarek, P., A. Merecz-Sadowska, T. Kowalczyk, J. Wieczfinska, R. Zajdel, and T. Sliwinski. 2020. Potential synergistic action of bioactive compounds from plant extracts

against skin infecting microorganisms. Int. J. Mol. Sci. 21(14):5105. <https://doi.org/10.3390/ijms21145105> [Links]

Sosa-Castañeda, J., C.G. Manzanarez-Quin, R.D. Valdez-Domínguez, C. Ibarra-Zazueta, R.F. Osuna-Chávez, and P.Y. Castro Heredia. 2022. Antimicrobial activity of plants native to Sonora, Mexico, against pathogenic bacteria isolated from milk from cows diagnosed with mastitis. Rev. Mex. Cien. Pecu. 13(2):375-390. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.6017> [Links]

Tavares, C.S., J.A. Gameiro, L.B. Roseiro, and A.C. Figueiredo. 2022. Hydrolates: A review on their volatiles composition, biological properties and potential uses. Phytochem. Rev. 21(5), 1661-1737. <https://doi.org/10.1007/s11101-022-09803-6> [Links]

Topal, E., M.C. Cipcigan, R.I. Tunca, M. Kosoglu, and R. Margaoan. 2020. The Use of medicinal aromatic plants against bee diseases and pests. Bee Studies 12(1):5-11. <https://doi.org/10.51458/BSTD.2021.2> [Links]

Traynor, K.S., F. Mondet , J.R. de Miranda, M. Techer, V. Kowallik, M.A.Y. Oddie, P. Chantawannakul, and A. McAfee. 2020. *Varroa destructor*: A complex parasite, crippling honey bees worldwide. Trends Parasitol. 36(7):592-606. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.04.004> [Links]

Umpiérrez, M.L., E. Santos, A. González, and C. Rossini. 2011. Plant essential oils as potential control agents of varroaosis. Phytochem. Rev. 10(2):227-244. <https://doi.org/10.1007/s11101-010-9182-0> [Links]

Vilarem, C., V. Piou, F. Vogelweith, and A. Vétillard. 2021. *Varroa destructor* from the laboratory to the field: Control, biocontrol and ipm perspectives-A review. Insects. 12(9):800. <https://doi.org/10.3390/insects12090800> [Links]

Yarsan, E., F. Yilmaz, S. Sevin, G. Akdeniz, B. Celebi, S.H. Ozturk, S.N. Ayikol, U. Karatas, H. Ese, and N. Fidan. 2024. Investigation of resistance against to flumethrin using against *Varroa destructor* in Türkiye. Vet. Res. Commun. 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10351-x> [Links]