

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**CAUSAS DEL SINDROME DEL COLAPSO DE COLONIAS DE *APIS*  
*MELLIFERA L.***

**POR**

**MICHELLE CONSUELO ALEJANDRA IUBINI ARAVENA**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA AGRÓNOMA.**

**CONCEPCIÓN - CHILE  
2023**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CAUSAS DEL SINDROME DEL COLAPSO DE COLONIAS DE *APIS*  
*MELLIFERA L.***

**POR**

**MICHELLE CONSUELO ALEJNDRA IUBINI ARAVENA**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA AGRÓNOMA.**

**CONCEPCIÓN, CHILE  
2023**

Aprobada por:

Profesor Asociado, Gonzalo Silva A.  
Ing. Agrónomo, Mg. Sc., Dr. Cs.

---

Guía

Profesor Asistente, Marcela Rodríguez G.  
Lic. En Biología, Mg. Sc., Dr. Cs.

---

Asesor

Profesor Investigador, J. C. Rodríguez M.  
Ing. Agrónomo, M.C. Ph. D.  
Colegio de Postgraduados.  
México

---

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.  
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>Página</b>
RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
DESARROLLO.....	3
Capítulo I: Descripción e importancia de <i>Apis mellifera</i> .....	3
Capítulo II: Síndrome del colapso de las colonias.....	5
Capítulo III: Efecto del cambio climático en las abejas.....	9
Capítulo IV: Efectos de bioinsecticidas en abejas ( <i>Apis mellifera</i> ).....	11
Capítulo V: Bioinsecticidas y su efecto en las abejas.....	14
CONCLUSIONES.....	18
REFERENCIAS.....	19

## **CAUSAS DEL SINDROME DEL COLAPSO DE COLONIAS DE *APIS MELLIFERA* L.**

CAUSES OF COLONY COLLAPSE DISORDER OF *APIS MELLIFERA* L.

**Palabras índices adicionales: abeja melífera, colapso de las colonias, cambio climático, insecticidas.**

### **RESUMEN**

En los últimos años, se ha detectado una disminución de las poblaciones de abejas melíferas (*Apis mellifera* L.; Hymenoptera: Apidae), lo que implica que la sostenibilidad del proceso de polinización se encuentra en riesgo, fenómeno denominado como “Síndrome de Colapso de las Colonias”. Factores como disponibilidad de néctar y polen, nutrición, exposición a plaguicidas y el cambio climático afectan negativamente a estos insectos. Además, las abejas son susceptibles a patógenos como *Nosema* spp o *Varroa destructor*, pero una nutrición deficiente las hace más susceptibles. El cambio climático, principalmente en el aumento de la temperatura y disminución de la humedad, influye en la fisiología y comportamiento de las abejas. Asimismo, la exposición a plaguicidas como neonicotinoides, piretroides y organofosforados e inclusive bioinsecticidas como azadiractina o *Bacillus thuringiensis*, alteran su comportamiento, fisiología y, por tanto, supervivencia. En consecuencia, es fundamental conservar las poblaciones de *Apis mellifera* para garantizar la polinización de los cultivos y la seguridad alimentaria.

### **SUMMARY**

In last years, a decrease in honey bees (*Apis mellifera* L.; Hymenoptera: Apidae) populations has been detected, which implies that the pollination sustainability process is at risk, a phenomenon known as “Colony Collapse Disorder (CCD)”. Factors such as nectar and pollen availability, nutrition, exposure to pesticides and climate change affect negatively these insects. Additionally, bees are susceptible to pathogens such as *Nosema* spp or *Varroa destructor*, but poor nutrition makes them more susceptible. Climate change, mainly temperatura increase and humidity reduction, influences the bee physiology and behavior. Likewise, exposure to

pesticides such as neonicotinoids, pyrethroids and organophosphates and even bioinsecticides such as azadirachtin or *Bacillus thuringiensis*, alter behavior, physiology and survival of bees. Consequently, it is essential to conserve *Apis mellifera* populations to guarantee crop pollination and food security.

## INTRODUCCIÓN

La abeja melífera (*Apis mellifera* L.; Hymenoptera: Apidae) es un insecto ampliamente distribuido en Europa, Asia, Oriente Medio y prácticamente todo el mundo (Han *et al.*, 2012). Esta especie tiene gran importancia económica y ecológica, ya que son esenciales para la polinización de numerosos cultivos y plantas silvestres. Sin embargo, en los últimos años se ha observado una disminución en las poblaciones de abejas melíferas en todo el mundo, lo que implicaría que la sostenibilidad del proceso de polinización realizado por estas se encuentra en riesgo, fenómeno que ha sido denominado como Síndrome del Colapso de las Colonias o Colony Collapse Disorder (CCD) (Suryanarayanan y Kleinman, 2013). En este contexto, el objetivo de la presente revisión es presentar las posibles causas que provocan esta problemática, como nutrición, patógenos, cambio climático y uso de plaguicidas. Se analizarán todos los factores, pero especialmente las diferentes clases de insecticidas, desde reguladores del crecimiento y neonicotinoides, hasta los piretroides, organoclorados y organofosforados, destacando cómo estos compuestos pueden tener consecuencias letales y subletales, no solo en los insectos plaga, sino también en el ambiente e insectos benéficos, como *A. mellifera*. Se examinarán los mecanismos de acción y como estos alteran las funciones fisiológicas y el comportamiento de las abejas. Además, se hará énfasis en la utilización de bioinsecticidas como una alternativa potencialmente segura para el control de plagas, debido a su menor impacto ambiental y selectividad. Finalmente se analizarán bioinsecticidas como avermectinas, azadiractinas, *Bacillus thuringiensis*, piretrinas y spinosinas, y cómo el uso de estos puede tener implicaciones en la salud y supervivencia de las abejas, mencionando algunos estudios y resultados para respaldar lo mencionado.

## DESARROLLO Y DISCUSIÓN

### CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN E IMPORTANCIA DE *Apis mellifera*

La abeja melífera (*Apis mellifera* L.; Hymenoptera: Apidae), fue clasificada por primera vez en 1878 por Carl Linnaeus, y desde entonces se han descrito más de 20 subespecies (Sheppard *et al.*, 2003). La distribución de esta especie abarca Europa, Asia y Oriente Medio (Han *et al.*, 2012). Aunque, desde el año 1600 se ha expandido en prácticamente todo el mundo debido al transporte deliberado que ha realizado el ser humano (vanEngelsdorp y Meixner, 2010). De esta forma *A. mellifera* es la especie polinizadora más domesticada a nivel mundial (Stanley *et al.*, 2020). Es un insecto social, que se organiza en un sistema de castas, las cuales corresponden a; abeja reina, obreras y zánganos; y como consecuencia de lo anterior difieren en comportamiento, vida útil, función, desarrollo, morfología y metabolismo (Wang *et al.*, 2015). A causa de este sistema de organización, toda la colmena se considera como una unidad biológica o superorganismo (Mortensen *et al.*, 2013).

#### 1.1 Ciclo

El ciclo de vida de esta especie es holometábolo, por lo que su desarrollo se divide en cuatro etapas; huevo, larva, pupa y adulto (Wang *et al.*, 2015), las cuales se llevan a cabo en el interior de las celdas del panal (Moritz y Southwick, 2012). La abeja reina y las obreras son producto de huevos fertilizados con el mismo genotipo (Wang *et al.*, 2015), mientras que los zánganos son producto de huevos de abejas obreras no fertilizados (Mortensen *et al.*, 2013). El huevo, tiene una duración de 3 días, luego de lo cual emergen las larvas (Page Jr y Peng, 2001; Moritz y Southwick, 2012), lo que es similar en todas las castas. La duración del estadio larval es de 6 a 8 días (Page Jr y Peng, 2001). Durante esta etapa las larvas son alimentadas con jalea real hasta mediados del penúltimo estadio larval (L<sub>4</sub>). Aquellas alimentadas con jalea real luego de L<sub>4</sub>, se convertirán en reinas (Moritz y Southwick, 2012). Cuando termina el estadio larval, las celdas son operculadas para iniciar la fase de prepupa y pupa, cuya duración en las reinas es de 7 días, en las obreras de 12 días y en los zánganos de 15 días (Page Jr y Peng, 2001). Finalmente, el ciclo de

desarrollo de la abeja reina tiene una duración de 15 a 16 días, el de una abeja obrera de 21 días y 24 en el de los zánganos (Mortensen *et al.*, 2013).

## 1.2 Morfología

Las abejas adultas están cubiertas por pelos ramificados, y poseen una “cintura” delgada por la constricción del segundo segmento abdominal; además de contar con ojos compuestos y antenas, sumado a un par de alas y tres pares de patas (Mortensen *et al.*, 2013).

**Reina:** La abeja reina tiene una cabeza y tórax similares en tamaño a la abeja obrera; sin embargo, sus alas son más cortas y su abdomen más largo (Mortensen *et al.*, 2013). Carece de estructuras colectoras de polen, pero poseen aguijón, el cual utilizan para atacar a reinas rivales, pero a diferencia del de las obreras, este se puede retraer luego de su uso, por lo que generalmente no mueren luego de utilizarlo (Winston, 1987).

**Obrera:** Las abejas obreras tienen el menor tamaño dentro de la colmena (Mortensen *et al.*, 2013), y cuentan con una corbícula, ubicada en el tercer par de patas, cuyo fin es transportar grandes cantidades de polen (Mortensen *et al.*, 2013). La característica más notable es el aguijón, el cual solo estas poseen, ya que se origina a partir de un ovipositor modificado (Mortensen *et al.*, 2013).

**Zángano:** Los zánganos, son los machos dentro de la colmena, tienen la cabeza y tórax más grandes en relación a la abeja reina y obreras, y a diferencia de estas su abdomen es más grueso y redondeado (Mortensen *et al.*, 2013). Las estructuras relacionadas al vuelo, orientación y apareamiento están bien desarrolladas, con sus ojos abarcando toda la parte superior de la cabeza (Winston, 1987). No cuentan con glándulas hipofaríngeas o de cera, ni con estructuras colectoras de polen en sus patas o aguijón (Winston, 1987).

## 1.3 Importancia económica

Aunque las abejas son criadas para producir miel y cera, es uno de los insectos polinizadores más importantes, ya que cumple esta función en cerca del 50% de los cultivos a nivel mundial, lo que equivale a 52 de los 115 principales productos



alimenticios cultivados. Se ha demostrado que algunos de los productos básicos dependientes de la polinización con abejas melíferas, tendrían una reducción del 90% sin la presencia de estos insectos (Klein *et al.*, 2007). Si bien, no todo el proceso de polinización es completamente dependiente de las abejas, ya que existen otras especies de polinizadores silvestres, como mosquitos, mariposas, escarabajos, e incluso aves y murciélagos, *A. mellifera* sigue siendo de vital importancia debido a su domesticación y al gran tamaño de sus colonias (Stanley *et al.*, 2020). Las colonias de abejas pueden contar con entre 10.000 a 40.000 individuos en un año, por lo tanto, en ausencia de agentes silvestres de polinización, se hace uso de colmenas de apicultores profesionales para garantizar la polinización de los cultivos (Klein *et al.*, 2007). En el año 2009 se estimó que el valor económico de la polinización por parte de esta especie era equivalente a US\$ 212 mil millones, siendo alrededor del 9,5% del valor total de la producción de alimentos destinados a humanos en todo el mundo (Gallai *et al.*, 2009).

## **CAPÍTULO II: SINDROME DEL COLAPSO DE LAS COLONIAS**

Desde hace algunos años se ha detectado la disminución de las poblaciones de abejas en todo el mundo, lo que implica problemas en la polinización, apicultura y, en consecuencia, en la capacidad de solventar la demanda alimentaria de una población en constante aumento (Flores *et al.*, 2021). A lo largo de la historia han ocurrido pérdidas de colonias de abejas, no obstante, nunca se había registrado una pérdida masiva como la ocurrida en el hemisferio norte durante el invierno de 2006-2007, en la cual algunos apicultores reportaron pérdidas entre el 80 y 100% de sus apiarios (Atanasov *et al.*, 2021). Aunque este evento tiene ciertas características distintivas, como: la pérdida masiva y rápida de abejas obreras adultas, una notable falta de abejas muertas, tanto dentro como fuera de la colmena, presencia de crías operculadas y amplias reservas de alimento, ocurrencia tardía de cleptoparasitismo y las colonias colapsadas no presentaban niveles dañinos de *Varroa destructor* o *Nosema apis* al momento del colapso (Atanasov *et al.*, 2021). A este fenómeno, los investigadores lo han denominado “Síndrome del Colapso de las Colonias” (Suryanarayanan y Kleinman, 2013), o Colony Collapse Disorder (CCD) en inglés.

Respecto a la causante de CCD, se ha alcanzado el consenso de que no hay una sola causa probable que origine esta problemática, sino que, es el resultado de una combinación de múltiples factores, como patógenos, parásitos, mala nutrición, cambio climático y uso de plaguicidas (Atanasov *et al.*, 2021). Sin embargo, aún no se resuelve qué factores tendrían más predominancia, ni tampoco la forma en que interactúan estos para provocar este fenómeno (Atanasov *et al.*, 2021). Si bien, los patógenos son un factor de relevancia al momento de justificar el CCD, el tema más discutido al respecto es el uso de agroquímicos (Suryanarayanan y Kleinman, 2013).

## 2.1 Patógenos

Se ha determinado que son tres los patógenos que tienen una mayor incidencia en el CCD, siendo estos el ácaro *Varroa destructor*, el hongo *Nosema spp* y diferentes tipos de virus (Flores *et al.*, 2021).

***Varroa destructor*:** El ácaro *Varroa destructor* es la plaga más peligrosa para las colonias de *A. mellifera* en todo el mundo, debido a que puede atacar en cualquier etapa de desarrollo y castas de *A. mellifera* (Hristov *et al.*, 2021). Inicialmente era una plaga de la abeja melífera asiática, (*Apis cerana*), pero en 1950, comenzó a propagarse al resto del mundo (Brettel y Martin, 2017). Solo Australia y algunos territorios del extremo norte e islas remotas, están libres de esta plaga (Hristov *et al.*, 2021). *Varroa destructor*, consume externamente tejido graso corporal y se alimenta de la hemolinfa de la abeja (Barroso-Arévalo *et al.*, 2019); además es vector de variados virus, causando estrés y debilitamiento en las abejas, provocando condiciones favorables para el ataque de otros patógenos (Flores *et al.*, 2021). En la actualidad se considera la mayor amenaza relacionada con la pérdida de las colonias (Hristov *et al.*, 2021).

***Nosema spp*:** *Nosema* es un género de parásitos microsporidios (Sinpoo *et al.*, 2018), que causan una enfermedad llamada nosemosis (Georgi *et al.*, 2022), provocada por dos especies, *Nosema apis* y *Nosema cerana*, descritas originalmente en *A. mellifera* y *A. cerana*, respectivamente (Sinpoo *et al.*, 2018). Las abejas se infectan al momento de ingerir esporas mientras limpian las heces del panal. Aunque, los alimentos y agua contaminada también son una fuente de

infección (Webster *et al.*, 2004). La nosemosis afecta el intestino medio, degenerando el tejido epitelial, lo que provoca la supresión de respuestas inmunitarias y un metabolismo alterado (Georgi *et al.*, 2022). Los síntomas asociados son reducción en la producción de miel y recolección de polen, y búsqueda precoz de alimento, provocando la muerte de la abeja (Georgi *et al.*, 2022). Es difícil de erradicar, debido a que las esporas permanecen en las celdas del panal y son viables por un periodo indefinido de tiempo, por lo que pueden volverse infecciosas una vez que las abejas las ingieren mientras realizan labores de limpieza en la colmena (Webster *et al.*, 2008)

**Virus del ala deformada (DWV):** El virus del ala deformada o deformed wing virus (DWV) es uno de los principales patógenos del síndrome del colapso de las colonias y está asociado al ácaro *V. destructor* (Lanzi *et al.*, 2006). Este virus puede transmitirse de forma horizontal durante la trofalaxia entre los individuos de la colmena o cuando *V. destructor* se alimenta de la hemolinfa, y verticalmente a través de huevos infectados (Williams *et al.*, 2009). Este virus está asociado a deformidades características de las alas, hinchazón abdominal, parálisis y rápida mortalidad de abejas adultas (Lanzi *et al.*, 2006). Los síntomas evidentes son más comunes en colmenas infestadas con *V. destructor*, ya que la deformidad del ala está asociada a la carga viral del ácaro (Schroeder y Martin, 2012), aunque las infecciones sintomáticas de DWV requieren, generalmente, de una coinfección con varroa (Williams *et al.*, 2009). Cuando la infestación de ácaros supera los 2000 a 3000 individuos durante otoño, una gran cantidad de abejas hibernan con DWV, lo que provoca el colapso de la colonia durante el invierno. Por tanto, en regiones templadas, el control de varroa en una colmena se considera como la única herramienta preventiva contra el colapso de las colonias asociado a DWV (Schroeder y Martin, 2012)

**Loque americana y europea:** La loque americana es una enfermedad que afecta a las larvas de *A. mellifera*, causada por la bacteria *Paenibacillus larvae* (Moliné *et al.*, 2020). Las larvas son más susceptibles a la infección, principalmente durante las primeras etapas, es decir 12 a 36 horas luego de la eclosión del huevo (Moliné *et al.*, 2020). La bacteria coloniza el intestino medio y prolifera sin destruir

visiblemente el tejido epitelial del mesenterón (Moliné *et al.*, 2020). Durante la etapa de infección, la bacteria sigue un estilo de vida comensal, alimentándose del alimento ingerido por la larva (Moliné *et al.*, 2020). A su vez, la loque europea es una enfermedad de distribución mundial que infecta principalmente a larvas de distintas especies de abejas (Lewkowski y Erler, 2019). El agente patógeno que provoca esta enfermedad es *Melissococcus plutonius* (Grossar *et al.*, 2020), y afecta principalmente las crías no operculadas, matando a las larvas de abejas generalmente cuando tienen 4 o 5 días de edad (Forsgren, 2010). El patógeno ingresa a través del tracto intestinal de larvas a partir de alimentos contaminados, los cuales son proporcionados por las abejas adultas, y una vez ingerido, se multiplica rápidamente en el intestino medio, lo que priva al huésped de nutrientes (Grossar *et al.*, 2020). La larva infectada se mueve en la celda y en lugar de la posición normal, muere desplazada dentro de su celdilla.

## **2.2 Nutrición**

Las abejas melíferas, se ven amenazadas por los cambios en la disponibilidad y diversidad de las fuentes de néctar y polen (Moliné *et al.*, 2020), los cuales conforman su dieta, y en muchos organismos, la cantidad o calidad de la dieta puede influir en su susceptibilidad a patógenos (Dolezal y Toth, 2018). Se ha sugerido que la limitación nutricional, debido a una dieta deficiente, podría provocar individuos inmunocomprometidos que son más susceptibles cuando se exponen a patógenos (Foley *et al.*, 2012). La infección por patógenos y la susceptibilidad se ven afectadas por la nutrición del huésped, pero esta también puede contribuir a la desnutrición (Dolezal y Toth, 2018), y en el caso de las abejas melíferas ocurren ambas situaciones. Por ejemplo, *Nosema apis* y *Nosema ceranae* infectan el intestino, privando a las abejas de obtener nutrientes y causando problemas digestivos; esta desnutrición a su vez tiene el potencial de afectar la susceptibilidad a otros patógenos, puesto que, con desnutrición e inmunidad reducidas, las abejas pueden volverse más propensas a niveles tolerables de infección por virus (Dolezal y Toth, 2018). En abejas, la etapa larvaria parecer ser la más vulnerable a las dietas deficientes (Moliné *et al.*, 2020) y la coinfección con múltiples patógenos se ha observado frecuentemente en colonias débiles o enfermas (Dolezal y Toth, 2018).

### **2.3 Cambio climático**

Hallazgos recientes señalan que la disminución en las poblaciones de abejas se debe al cambio climático, y que en aquellos lugares del planeta que han aumentado o presentado temperaturas anómalas se han experimentado las mayores pérdidas. Por su relevancia, este tema será tratado con profundidad en el siguiente capítulo.

### **2.4 Plaguicidas**

Investigaciones sugieren que la exposición de abejas a plaguicidas es un factor importante para la pérdida de ejemplares y declive de las colonias (Abay *et al.*, 2023). En estudios anteriores, se investigaron incidentes con plaguicidas en varios países del mundo, los cuales mostraron que las abejas se exponían con frecuencia a estos como resultado de su actividad de búsqueda de alimento (Abay *et al.*, 2023). Este tema será abordado en mayor profundidad en un capítulo posterior.

## **CAPÍTULO III: EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ABEJAS**

El crecimiento excepcional de la población en los últimos 100 años ha tenido consecuencias indeseables (Skendžić *et al.*, 2021), provocando un cambio climático, el cual es un fenómeno global que ha trascendido fronteras geográficas (Reddy *et al.*, 2012), y se ha consolidado como un serio problema que enfrenta el mundo actualmente (Skendžić *et al.*, 2021). La industrialización y deforestación que conducen al agotamiento de la capa de ozono y al aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, son los principales factores que impulsan este proceso (Reddy *et al.*, 2012). El cambio climático tiene el potencial de afectar gravemente los servicios ecosistémicos, como la polinización (Kjøhl *et al.*, 2011).

En las abejas melíferas, el cambio climático puede influir en diferentes niveles, pudiendo tener una influencia directa en su comportamiento y fisiología (Reddy *et al.*, 2012). Las variables climáticas más relevantes pueden variar entre especies de cultivos y polinizadores, y entre diferentes regiones climáticas (Kjøhl *et al.*, 2011), pero en las abejas, las variables climáticas que controlan su fenología son temperatura máxima diaria, número de días grado y duración del día (Reddy *et al.*, 2012).

### 3.1 Concentración de CO<sub>2</sub>

La principal causa del calentamiento global es el aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, siendo el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) el más importante y abundante (Skendžić *et al.*, 2021). El dióxido de carbono es un subproducto de la respiración, el cual es tóxico en altas concentraciones, por lo que la regulación de este gas dentro de la colmena es una función importante en la colonia (Meikle *et al.*, 2022). Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en las ubicaciones centrales de la colmena podrían ser de un 3,0% en verano y 6,0% en invierno (Onayemi *et al.*, 2022). Sin embargo, en mayores concentraciones el CO<sub>2</sub> es tóxico para las abejas, debido a que, al estar expuestas a altas concentraciones de este gas, envejecen más rápido, forrajean antes y disminuye su tiempo de vida (Czekońska, K. 2009)

### 3.2 Temperatura

Las abejas melíferas al ser ectotérmicas no pueden controlar internamente su temperatura corporal, por lo que los factores ambientales influyen significativamente en su temperatura corporal (Reddy *et al.*, 2015). Por lo anterior, es que requieren una temperatura corporal elevada para volar y la temperatura ambiental condiciona su actividad alimentaria (Reddy *et al.*, 2012). Además, estudios han demostrado que las abejas tienen limitaciones en su capacidad para adaptarse a los cambios de temperaturas (Banaji, 2022). Aunque, en el interior de la colmena mantienen su propio microclima (Abou-Shaara *et al.*, 2017). El rango normal de temperatura en el interior de la colonia es de  $34,5 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$  (Abou-Shaara *et al.*, 2017), aunque en colonias normales, la temperatura del nido de cría se mantiene constante o alrededor de  $32^{\circ}\text{C}$  (Reddy *et al.*, 2015). Aunque, cuando la temperatura se eleva a más de  $36^{\circ}\text{C}$ , es probable que las crías estén expuestas a un sobrecalentamiento (Abou-Shaara *et al.*, 2017). Las respuestas de comportamiento de las abejas para evitar temperaturas extremas podrían afectar los servicios de polinización, principalmente en zonas donde la temperatura ambiente es alta y las condiciones climáticas son estables (Reddy *et al.*, 2012). Por otro lado, la temperatura invernal también puede afectar a los polinizadores; por ejemplo, se registró que, en los últimos años en Irlanda, las colmenas han podido sobrevivir durante el invierno,

debido al aumento de temperaturas invernales, y estas podrían presentar poblaciones más grandes de obreras en una etapa más temprana de primavera que las colonias constituidas desde cero por una sola reina (Kjøhl *et al.*, 2011). Si bien las pérdidas de colonias de abejas pueden ocurrir durante un frío extremo, como en Estados Unidos, también pueden suceder en altas temperaturas como en países árabes (Abou-Shaara *et al.*, 2017), donde el 76% del total de pérdidas de colonias ocurrieron durante un clima severo de verano en Arabia Saudita (Abou-Shaara *et al.*, 2017).

### **3.3 Humedad relativa**

La humedad relativa (HR) tiene una importancia particular dentro de la colmena, ya que se requiere de una alta humedad para el desarrollo de las crías (Abou-Shaara *et al.*, 2012). Una humedad relativa por debajo del 50% dificulta la eclosión de huevos, siendo un rango óptimo para la eclosión normal de HR de 90 a 95% (Abou-Shaara *et al.*, 2017). Aunque, una HR de alrededor del 75% dentro de la colonia podría considerarse adecuada para las etapas inmaduras (Abou-Shaara *et al.*, 2012). Cuando la humedad relativa es menor o superior a esos rangos, se reduce significativamente el número de huevos eclosionados (Abou-Shaara *et al.*, 2017).

Una elevada HR, provoca que las abejas tienden a ventilar la colmena para reducir la humedad y estar dentro del rango óptimo (Abou-Shaara *et al.*, 2017). En caso contrario, en condiciones de baja HR, las abejas muestran un comportamiento específico para aumentar la humedad (Abou-Shaara *et al.*, 2017), la cual consiste en la evaporación del agua del néctar y la recolección de esta (Abou-Shaara *et al.*, 2012; Abou-Shaara *et al.*, 2017). Respecto a esto último, las abejas al estar enjauladas y expuestas a altas temperaturas aumentan la absorción de agua, por tanto, la integración entre humedad relativa y temperatura es de vital importancia para la actividad de las abejas (Abou-Shaara *et al.*, 2012).

## **CAPÍTULO IV: EFECTOS DE LOS INSECTICIDAS SINTÉTICOS EN ABEJAS (*Apis mellifera*)**

En la agricultura los insecticidas se utilizan para proteger los cultivos, y en el mercado mundial de plaguicidas, los insecticidas constituyen el 25% (Belzunces *et*

*al.*, 2012). Sin embargo, a pesar de sus beneficios, se ha demostrado que muchos provocan efectos letales y subletales no solamente en el insecto blanco, sino también en el ambiente y las personas que consumen los alimentos contaminados (Qu *et al.*, 2022). De la misma forma, se ven perjudicados insectos benéficos como la abeja melífera (Laurino *et al.*, 2013). Los residuos de plaguicidas juegan un rol importante en la desaparición de las abejas (Murcia-Morales *et al.*, 2022), y los estudios sugieren que existen tres vías de envenenamiento: cuando las abejas recolectoras entran en contacto directo con los plaguicidas aplicados en las plantas, muriendo rápidamente en campo; cuando las abejas recolectoras trasladan el néctar, polen y agua contaminada a la colmena y por una posible exposición de plaguicidas a través de la deriva de una aspersión aérea (Abay *et al.*, 2023).

Entre los insecticidas, que se presumen causantes de esto, se encuentran los neonicotinoides, piretroides y organofosforados, entre otros.

#### **4.1 IGR (Insecticidas Reguladores del Crecimiento)**

Los insecticidas reguladores del crecimiento o IGRs, son un grupo de insecticidas que alteran el proceso de ecdisis de los insectos (Tasei, 2001). Con respecto a las abejas, se han realizado variados estudios para demostrar su efecto en dicha especie. Al respecto, Chen *et al.* (2016), evaluaron el impacto de piriproxifeno (PPN), en larvas de abejas melíferas en colonias de campo obteniendo que altas concentraciones de este insecticida provocan una mortalidad de 67% de las abejas durante la fase pupal, y de las sobrevivientes un 62,3% eclosionaron de forma anormal. Además, cuando se disminuyó la dosis de PPN, se redujo la tasa de eclosión, operculación y emergencia de adultos, provocando una mayor tasa de eclosión anormal, junto con una disminución del rendimiento de jalea real.

#### **4.2 Neonicotinoides**

Los neonicotinoides son un grupo de insecticidas sistémicos cuyo modo de acción consiste en unirse a los receptores nicotínicos de la acetilcolina, bloqueándolos y alterando de esta forma el impulso nervioso (Laurino *et al.*, 2011), provocando la posterior muerte del insecto. Este grupo de insecticidas abarca el 30% del mercado actual de los insecticidas sintéticos en uso (Tosi *et al.*, 2016). La forma en que este



compuesto ejerce su efecto es al momento que entra en contacto con la planta, la cual absorbe entre un 2 y 20% del neonicotinoide, distribuyéndolo en toda su estructura. Las concentraciones absorbidas por la planta son suficientes para controlar plagas, pero de igual forma los insectos polinizadores se ven expuestos a este insecticida; puesto que entre el 11 a 24% del polen y el 17 y 65% del néctar está contaminado con el insecticida (Sánchez-Bayo, 2014).

Los polinizadores, como la abeja melífera, se ven afectados por este insecticida, no por una acción inmediata, sino por la ingestión de dosis subletales a lo largo del tiempo; dado que las abejas recolectoras solo consumen un poco del néctar que colectan, llevando el resto a la colmena (Sánchez-Bayo, 2014). Por esto, durante un tiempo se atribuyó casi exclusivamente la mortalidad de las abejas en diversos países a estos insecticidas (Laurino *et al.*, 2013). Entre los efectos de los neonicotinoides en abejas, y en cualquier otro insecto, están alteraciones en el comportamiento, desorientación y deterioro de la actividad social (Laurino *et al.*, 2011; Laurino *et al.*, 2013). No obstante, estas alteraciones no son detectables en el corto plazo (Belzunces *et al.*, 2012), sino más bien cuando ya se produce la muerte del insecto (Sánchez-Bayo, 2014). De acuerdo con Tosi *et al.* (2016), que evaluaron el efecto de la exposición de diferentes concentraciones de tiametoxam, en la temperatura del tórax de abejas recolectoras expuestas a ambientes de altas y bajas temperaturas, todas las concentraciones evaluadas alteraban significativamente la temperatura del tórax de las abejas. Y el que se produzcan alteraciones en la termorregulación de las abejas, implica que se pueda afectar la eficiencia en la búsqueda de alimento y otras tareas dentro de la colonia.

### **4.3 Piretroides**

Los piretroides son una clase de insecticidas neurotóxicos elaborados a partir de la estructura de las piretrinas (Soderlund *et al.*, 2002) y, por ende, tienen el mismo mecanismo de acción, alterando el voltaje de los canales de sodio (Soderlund *et al.*, 2002), manteniéndolos constantemente abiertos, interrumpiendo la transmisión del impulso nervioso y causando la muerte del insecto (Chen *et al.*, 2018). Estos insecticidas no son selectivos, por lo que afectan a mamíferos e insectos por igual (Shah *et al.*, 2020). Es por esto que, al igual que los neonicotinoides, han sido muy

cuestionados. Por lo anterior, es que se han llevado a cabo numerosas investigaciones respecto al efecto de estos insecticidas en *A. mellifera*. Abati *et al* (2023), evaluaron la toxicidad residual y el efecto sobre obreras de *A. mellifera* del neonicotinoide imidacloprid, el piretroide beta-ciflutrina y una mezcla de ambos, obteniendo que en los tratamientos con beta-ciflutrina hubo una reducción de la longevidad en relación con el control; es decir, mientras más corto era el intervalo entre la aplicación del insecticida y el contacto con las abejas, menor era el tiempo de supervivencia de estas. Además, cuando las abejas se expusieron a hojas de canola tratadas 14 días antes con beta-ciflutrina, a las 18 hrs de exposición casi todas se encontraron muertas y menos del 50% de estas continuaron vivas luego de 18 horas.

#### **4.4 Organofosforados**

Los organofosforados son insecticidas cuyo mecanismo de acción consiste en inhibir la enzima acetilcolinesterasa (AChE) (WHO, 1986) que interviene en la descomposición de la acetilcolina (ACh) en el sistema nervioso (Delkash-Roudsari *et al.*, 2022). Al no poder descomponerse la acetilcolina, ocurre una acumulación de este neurotransmisor (WHO, 1986), lo que da como resultado constantes contracciones musculares que provocan la muerte del insecto (Christen *et al.*, 2019).

En cuanto al efecto en abejas, se han realizado variados estudios, como el de Christen *et al* (2018) en el cual analizaron los efectos del dimetoato, cuyos resultados mostraron que este insecticida inhibe la actividad de la acetilcolinesterasa, de forma proporcional a la dosis de aplicación, además alteró la transcripción de genes que regulan el sistema inmune y redujo significativamente la producción de vitelogenina.

### **CAPÍTULO V: BIOINSECTICIDAS Y SU EFECTO EN ABEJAS**

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), los bioinsecticidas se definen como “sustancias naturales derivadas de microorganismos, plantas o animales que controlan plagas (insecticidas bioquímicos y derivados), sustancias insecticidas producidas por plantas que contienen material genético agregado (protectores incorporados a las plantas (PIP))

y microorganismos y virus que controlan plagas (insecticidas microbianos)". Hoy en día los bioinsecticidas se han consolidado como una opción a los insecticidas sintéticos, debido a que se asume que presentan bajo riesgo ambiental y toxicidad para mamíferos, alta selectividad de especies y bajo potencial de desarrollo de resistencia (Qu *et al.*, 2022). Sin embargo, la percepción que se tenía de este tipo de insecticidas como seguros se perdió al aparecer los primeros antecedentes de riesgos en la salud humana y el ambiente. Estudios recientes han demostrado que los bioinsecticidas provocan efectos negativos en insectos no blanco, perjudicando principalmente a insectos benéficos, como depredadores, parasitoides y polinizadores, como *A. mellifera* (Haddi *et al.*, 2020). Entre los más utilizados se encuentran la azadiractina, *Bacillus thuringiensis*, piretrinas y spinosinas, entre otros.

### 5.1 Avermectinas

Las avermectinas son una familia de lactonas macrocíclicas que se obtienen de la fermentación de la bacteria *Streptomyces avermitilis* (Yoon *et al.*, 2004). Esta familia tiene una serie de derivados, como doramectina, eprinomectina, moxidectina, selamectina, milbemicina oxima, ivermectina y abamectina, siendo estas dos últimas las más utilizadas en la agricultura (Li *et al.*, 2022). En el ámbito agrícola la abamectina es utilizada para el control de insectos y ácaros (Li *et al.*, 2022) debido a que ejerce su acción tóxica a nivel del sistema nervioso, uniéndose a los receptores del ácido gamma-aminobutírico (GABA), aumentando el flujo de iones de cloruro hacia las células e interrumpiendo la transmisión del impulso nervioso (Li *et al.*, 2022), provocando parálisis y la posterior muerte del insecto. Si bien este insecticida es utilizado para la protección de cultivos, también afecta especies no blanco, existiendo antecedentes de que las avermectinas son tóxicas para las abejas (Li *et al.*, 2022). De acuerdo con Aljedani (2017), la abamectina provocó de manera más rápida la muerte de *Apis mellifera jemenitica*, en comparación al piretroide deltametrina; además de provocar trastornos digestivos.

## 5.2 Azadiractina

La Azadiractina es un derivado de las semillas del árbol de Neem (*Azadirachta indica* J; Meliaceae), especie que durante mucho tiempo ha sido utilizado con fines medicinales y fitosanitarios en la India (Rembold *et al.*, 1982). Sin embargo, en 1962 por primera vez se dio a conocer que las semillas de esta especie podían provocar la inhibición de la alimentación en langostas (Orthoptera: Acrididae). Lo anterior se debe a que este compuesto es un antialimentario, y provoca alteraciones en la metamorfosis y fecundidad, e inhibe la ovoposición (Rembold *et al.*, 1982). Este compuesto es un antagonista de la hormona juvenil (JH) y de la 20-hidroxiecdisona (20E). Además, provoca cambios estructurales degenerativos en los núcleos de las glándulas endocrinas, las cuales son responsables de controlar la ecdisis en los insectos (Kilani-Morakchi *et al.*, 2021).

En la actualidad este derivado es uno de los bioinsecticidas más utilizados a nivel mundial y aunque controla insectos plaga, también puede afectar a los insectos benéficos, como *A. mellifera*. Lo anterior se debe a que se han encontrado residuos de Neem en el polen y néctar de cultivos, el cual luego es transportado a la colmena, provocando la intoxicación de las abejas al consumir este compuesto (González-Gómez *et al.*, 2016). Al respecto, Lopes Amaral *et al* (2015), en condiciones de laboratorio, evaluaron si la ingestión de distintas concentraciones de un formulado a base de Neem aumentaba la mortalidad de abejas melíferas durante el desarrollo larvario y después del inicio de la búsqueda de alimento, encontrando que larvas y abejas recolectoras reducían su tasa de supervivencia al ingerir alimento contaminado, siendo esto dependiente de la concentración y edad de las abejas.

## 5.3 *Bacillus thuringiensis*

*Bacillus thuringiensis* (Bt) es una bacteria gram positiva formadora de esporas (De Maagd *et al.*, 1999), que posee dos fases de crecimiento, que corresponden a vegetativo y reproductivo, aunque son las proteínas de esta última fase, conocidas como toxinas Cry, las que tienen propiedades tóxicas contra lepidópteros, coleópteros, dípteros y nematodos (Soberón y Bravo, 2008). Las proteínas cristalinas de Bt se sintetizan como protótoxinas, las cuales, al ser digeridas por las larvas de los insectos, se disuelven por el pH alcalino del intestino medio

(mesenterón) (De Maagd *et al.*, 1999; Soberón y Bravo, 2008), liberando las toxinas activadas (Soberón y Bravo, 2008). Estas toxinas se unen a receptores específicos localizados en las células epiteliales del mesenterón, provocando un cambio conformacional en la toxina (Soberón y Bravo, 2008), lo que conlleva a la formación de poros que provocan la lisis de las células epiteliales (Cooper, 1994). Si bien no se han registrado casos de un posible efecto en insectos no blanco, igualmente se han llevado a cabo estudios en relación a su posible efecto sobre *A. mellifera*. Steinigeweg *et al* (2022) evaluaron el efecto de un formulado de *B. thuringiensis* subespecie aizawai (cepa: ABTS-1857) en el desarrollo larvario de abejas melíferas y la riqueza de especies de bacterias intestinales en abejas obreras jóvenes, obteniendo una inhibición del desarrollo de crías en las colonias tratadas y una reducción del porcentaje de abejas obreras emergidas.

#### **5.4 Piretrinas**

Las piretrinas son el término para describir al componente extraído y refinado de las flores del piretro (*Tanacetum cinerariifolium* T; Asteraceae) (Markham *et al* 2020). Esta oleorresina es ampliamente utilizada en ambientes domésticos y en el sector agrícola para el control de plagas, debido a sus potentes propiedades insecticidas y su rápida acción; además produce una baja toxicidad en plantas y mamíferos, con un mínimo impacto ambiental (Markham *et al* 2020). Su efecto insecticida consiste en producir al mismo tiempo una activación e inactivación de los canales de sodio del axón neuronal, provocando una apertura prolongada de estos, interrumpiendo la transmisión normal de los impulsos nerviosos, causando posteriormente la muerte del insecto (Chen *et al.*, 2018). En cuanto a su posible efecto en abejas, no se han realizado estudios al respecto. Sin embargo, hay un compuesto sintético análogo de las piretrinas, que son los piretroides (Chen *et al.*, 2018), de los cuales existen múltiples estudios de sus posibles efectos en abejas, como en *Apis cerana cerana* y *A. mellifera ligustica*.

#### **5.5 Spinosinas**

Las spinosinas al igual que las avermectinas son un grupo de lactonas macrocíclicas, que se producen a partir de la fermentación de la actinobacteria

*Saccharopolyspora spinosa*, siendo la Spinosina A (componente primario) y D (componente secundario) los compuestos más abundantes (Cottrell *et al.*, 2019), y que constituyen el componente activo del producto comercial Spinosad. Este compuesto tiene actividad insecticida de amplio espectro, cuyo modo de acción consiste en la unión agonista alostérica del receptor nicotínico de la acetilcolina (nACh) junto con un efecto antagonista en el receptor del ácido gamma-aminobutírico (GABA), provocando contracciones musculares, parálisis y la posterior muerte del insecto (Ramachandran y Schaefer, 2020). En cuanto al efecto de este insecticida sobre *A. mellifera*, Araújo *et al* (2023) estudiaron los efectos de la exposición aguda a spinosad en la supervivencia, alimentación, comportamiento y otros ámbitos fisiológicos en *A. mellifera*, obteniendo que la ingestión de spinosad disminuye la tasa de supervivencia y la actividad alimentaria, junto con que la exposición a este insecticida disminuye la tasa de respiración y altera la actividad de ciertas enzimas.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

Los antecedentes recopilados permiten inferir que el síndrome del colapso de las colonias es un fenómeno en el que se encuentran involucrados diversos factores, en que los insecticidas, tanto sintéticos como de origen natural, presentan gran relevancia. Sin embargo, también hay que tener en consideración que el planeta se encuentra actualmente en un proceso de cambio climático, por lo que este fenómeno también es un factor que se debe investigar, especialmente como este afecta el ecosistema de las abejas.

## **CONCLUSIONES**

- 1). El síndrome del colapso de las colonias es un fenómeno multifactorial que tiene serias implicaciones para la polinización y la producción de alimentos.
- 2). Los factores bióticos más importantes en el síndrome del colapso de las colonias son *Varroa destructor*, *Nosema* spp, Virus del ala deformada y loque americana y europea
- 3). La alteración de la temperatura y CO<sub>2</sub> por el cambio climático afectan significativamente las colonias de abejas.

- 4). Los insecticidas sintéticos más tóxicos para las abejas son los neonicotinoides y piretroides.
- 5). Los insecticidas naturales o bioinsecticidas como Neem, *Bacillus thuringiensis*, Avermectinas o Spinosinas también son tóxicos para las abejas.

## REFERENCIAS

1. Abati, R., G. Libardoni, G. Osowski, E. de Souza Vismara, F.M. Costa-Maia, E.R. Lozano, P.F. Adami and M. Potrich. 2023. Residual effect of imidacloprid and beta-cyfluthrin on Africanized *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) workers. *Apidologie*. 54(3): 26. <https://doi.org/10.1007/s13592-023-01005-z>
2. Abay, Z., A. Bezabeh, A. Gela and A. Tassew. 2023. Evaluating the Impact of Commonly Used Pesticides on Honeybees (*Apis mellifera*) in North Gonder of Amhara Region, Ethiopia. *Journal of Toxicology*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/2634158>
3. Abou-Shaara, H.F., A.A. Al-Ghamdi and A. A. Mohamed. 2012. Tolerance of two honey bee races to various temperature and relative humidity gradients. *Environmental and experimental Biology*. 10(4): 133-138.
4. Abou-Shaara, H.F., A.A. Owayss, Y.Y. Ibrahim and N.K. Basuny. 2017. A review of impacts of temperature and relative humidity on various activities of honey bees. *Insectes sociaux*. 64: 455-463. <http://dx.doi.org/10.1007/s00040-017-0573-8>
5. Aljedani, D.M. 2017. Effects of abamectin and deltamethrin to the foragers honeybee workers of *Apis mellifera jemenatica* (Hymenoptera: Apidae) under laboratory conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 24(5): 1007-1015. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.007>
6. Araújo, R.D.S., M.P. Lopes, T.A. Viana, D.S.S. Bastos, M. Machado-Neves, L.L. Botina and G.F. Martins. 2023. Bioinsecticide spinosad poses multiple harmful effects on foragers of *Apis mellifera*. *Environmental Science and Pollution Research*. 30: 66923–66935. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27143-6>
7. Atanasov, A.Z., S.G. Georgiev and L.G. Vulkov. 2021. Reconstruction analysis of honeybee colony collapse disorder modeling. *Optimization and Engineering*. 22(4): 2481-2503. <https://doi.org/10.1007/s11081-021-09678-0>
8. Banaji, S. 2022. Colony Collapse Disorder, Neonicotinoids, CO<sub>2</sub>, Climate Change, and the Four Spheres. *Open Journal of Ecology*. 12(11): 711-717. <https://doi.org/10.4236/oje.2022.1211040>
9. Barroso-Arévalo, S., E. Fernández-Carrión, J. Goyache, F. Molero, F. Puerta, F.,

- and J.M. Sánchez-Vizcaíno. 2019. High load of deformed wing virus and *Varroa destructor* infestation are related to weakness of honey bee colonies in Southern Spain. *Frontiers in Microbiology*. 10: 1331. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01331>
10. Belzunces, L.P., S. Tchamitchian and J.L. Brunet. 2012. Neural effects of insecticides in the honey bee. *Apidologie*. 43: 348-370. <https://doi.org/10.1007/s13592-012-0134-0>
  11. Brettell, L.E. and S.J. Martin. 2017. Oldest *Varroa* tolerant honey bee population provides insight into the origins of the global decline of honey bees. *Scientific reports*. 7(1): 45953. <https://doi.org/10.1038/srep45953>
  12. Chen, M., Y. Du, G. Zhu, G. Takamatsu, M. Ihara, K. Matsuda, B.S. Zhorov and K. Dong. 2018. Action of six pyrethrins purified from the botanical insecticide pyrethrum on cockroach sodium channels expressed in *Xenopus oocytes*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 151: 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.05.002>
  13. Chen, Y.W., P.S. Wu, E.C. Yang, Y.S. Nai and Z.Y. Huang. 2016. The impact of pyriproxyfen on the development of honey bee (*Apis mellifera* L.) colony in field. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 19(3): 589-594. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2016.06.005>
  14. Christen, V., Y. Joho, M. Vogel and K. Fent. 2018. Transcriptional and physiological effects of the pyrethroid deltamethrin and the organophosphate dimethoate in the brain of honey bees (*Apis mellifera*). *Environmental pollution*. 244: 247-256. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.030>
  15. Cooper, D. 1994. *Bacillus thuringiensis* toxins and mode of action. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 49(1): 21-26. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90016-7)
  16. Cottrell, T.E., B.L. Reeves and D.L. Horton. 2019. Spinosyns cause aedeagus eversion in *Carpophilus* spp. (Coleoptera: Nitidulidae). *Journal of Economic Entomology*. 112(4): 1658-1664. <https://doi.org/10.1093/jee/toz055>
  17. Czekońska, K. 2009. The effect of different concentrations of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in a mixture with air or nitrogen upon the survival of the honey bee (*Apis mellifera*). *Journal of apicultural research*. 48(1): 67-71. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.48.1.13>
  18. De Maagd, R.A., D. Bosch and W. Stiekema. 1999. *Bacillus thuringiensis* toxin-mediated insect resistance in plants. *Trends in plant science*. 4(1): 9-13. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(98\)01356-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(98)01356-9)
  19. Delkash-Roudsari, S., S.H. Goldansaz, K. Talebi Jahromi, A. Ashouri and C.I. Abramson. 2022. Side effects of imidacloprid, ethion, and hexaflumuron



- on adult and larvae of honey bee *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). *Apidologie*. 53(1): 17. <https://doi.org/10.1007/s13592-022-00910-z>
20. Dolezal, A.G. and A.L. Toth. 2018. Feedbacks between nutrition and disease in honey bee health. *Current opinion in insect science*. 26: 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.006>
  21. Flores, J.M., V. Gámiz, Á. Jiménez-Marín, A. Flores-Cortés, S. Gil-Lebrero, J.J. Garrido and M.D. Hernando. 2021. Impact of *Varroa destructor* and associated pathologies on the colony collapse disorder affecting honey bees. *Research in Veterinary Science*. 135: 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.01.001>
  22. Foley, K., G. Fazio, A.B. Jensen and W.O. Hughes. 2012. Nutritional limitation and resistance to opportunistic *Aspergillus* parasites in honey bee larvae. *Journal of Invertebrate Pathology*. 111(1): 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.06.006>
  23. Forsgren, E. 2010. European foulbrood in honey bees. *Journal of invertebrate pathology*. 103: S5-S9. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.016>
  24. Gallai, N., J.-M. Salles, J. Settele, B.E. Vaissière. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ*. 68: 810–821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>
  25. Georgi, I., N.A. Didaras, M. Nikolaidis, T.G. Dimitriou, L. Charistos, F. Hatjina, G.D. Amoutzias and D. Mossialos. 2022. The Impact of *Vairimorpha* (*Nosema*) *ceranae* Natural Infection on Honey Bee (*Apis mellifera*) and Bee Bread Microbiota. *Applied Sciences*. 12(22): 11476. <https://doi.org/10.3390/app122211476>
  26. González-Gómez, R., G. Otero-Colina, J.A. Villanueva-Jiménez, M.T. Santillán-Galicia, C.B. Peña-Valdivia and J.A. Santizo-Rincón. 2016. Effects of neem (*Azadirachta indica*) on honey bee workers and queens, while applied to control *Varroa destructor*. *Journal of Apicultural Research*. 55(5): 413–421. <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1260239>
  27. Grossar, D., V. Kilchenmann, E. Forsgren, J.D. Charrière, L. Gauthier, M. Chapuisat and V. Diemann. 2020. Putative determinants of virulence in *Melissococcus plutonius*, the bacterial agent causing European foulbrood in honey bees. *Virulence*. 11(1): 554-567. <https://doi.org/10.1080/21505594.2020.1768338>
  28. Haddi, K., L.M. Turchen, L.O. Viteri Jumbo, R.N. Guedes, E.J. Pereira, R.W. Aguiar, and E.E. Oliveira. 2020. Rethinking biorational insecticides for pest management: Unintended effects and consequences. *Pest management science*. 76(7): 2286-2293. <https://doi.org/10.1002/ps.5837>
  29. Han, F., A. Wallberg and M.T. Webster. 2012. From where did the Western

- honeybee (*Apis mellifera*) originate?. Ecology and evolution. 2(8): 1949-1957. <https://doi.org/10.1002/ece3.312>
30. Hristov, P., R. Shumkova, N. Palova and B. Neov. 2021. Honey bee colony losses: Why are honey bees disappearing?. Sociobiology. 68(1): e5851-e5851. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v68i1.5851>
  31. Kilani-Morakchi, S., H. Morakchi-Goudjil and K. Sifi. 2021. Azadirachtin-Based Insecticide: Overview, Risk Assessments, and Future Directions. Frontiers in Agronomy. 3: 676208. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.676208>
  32. Kjølhl, M., A. Nielsen and N.C. Stenseth. 2011. Potential effects of climate change on crop pollination. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
  33. Klein, A.M., B.E. Vaissiere, J.H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S.A. Cunningham, C. Kremen and T. Tscharntke. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. P. Roy. Soc. B. Biol. Sci. 274: 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
  34. Lanzi, G., J.R. de Miranda, M.B. Boniotti, C.E. Cameron, A. Lavazza, L. Capucci, S.M. Camazine and C. Rossi. 2006. Molecular and biological characterization of deformed wing virus of honeybees (*Apis mellifera* L.). Journal of virology. 80(10): 4998-5009. <https://doi.org/10.1128/jvi.80.10.4998-5009.2006>
  35. Laurino, D., A. Manino, A. Patetta and M. Porporato. 2013. Toxicity of neonicotinoid insecticides on different honey bee genotypes. Bulletin of Insectology. 66(1): 119-126.
  36. Laurino, D., M. Porporato, A. Patetta and A. Manino. 2011. Toxicity of neonicotinoid insecticides to honey bees: laboratory tests. Bull Insectol. 64(1): 107-113.
  37. Lewkowski, O. and S. Erler. 2019. Virulence of *Melissococcus plutonius* and secondary invaders associated with European foulbrood disease of the honey bee. MicrobiologyOpen. 8(3): e00649. <https://doi.org/10.1002/mbo3.649>
  38. Li, G., H. Zhao, D. Guo, Z. Liu, H. Wang, Q. Sun, Q. Liu, B. Xu and X. Guo. 2022. Distinct molecular impact patterns of abamectin on *Apis mellifera* ligustica and *Apis cerana cerana*. Ecotoxicology and Environmental Safety. 232: 113242. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113242>
  39. Lopes Amaral, R., M. Venzon, S. Martins Filho and M.A.P. Lima. 2015. Does ingestion of neem-contaminated diet cause mortality of honey bee larvae and foragers?. Journal of Apicultural Research. 54(4): 405–410. <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1159821>

40. Markham, T.E., A.C. Kotze, P.J. Duggan and M.R. Johnston. 2020. Reduction Chemistry of Natural Pyrethrins and Preliminary Insecticidal Activity of Reduced Pyrethrins. *Australian Journal of Chemistry*. 74(4):268-281. <https://doi.org/10.1071/CH20302>
41. Meikle, W.G., A. Barg and M. Weiss. 2022. Honey bee colonies maintain CO<sub>2</sub> and temperature regimes in spite of change in hive ventilation characteristics. *Apidologie*. 53(5): 51. <https://doi.org/10.1007/s13592-022-00954-1>
42. Moliné, M.D.L.P., N.J. Fernández, N. Damiani, M.S. Churio and L.B. Gende. 2020. The effect of diet on *Apis mellifera* larval susceptibility to *Paenibacillus larvae*. *Journal of Apicultural Research*. 59(5): 817-824. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1727086>
43. Moritz, R. and E.E. Southwick. 2012. Bees as superorganisms: an evolutionary reality. Springer Science and Business Media.
44. Mortensen, A.N., D.R. Schmehl and J. Ellis. August 2013. European Honey Bee *Apis mellifera* Linnaeus and subspecies (Insecta: Hymenoptera: Apidae). Entomology and Nematology Department, University of Florida.
45. Murcia-Morales, M., H. Heinzen, P. Parrilla-Vázquez, M. del Mar Gómez-Ramos and A.R. Fernández-Alba. 2022. Presence and distribution of pesticides in apicultural products: A critical appraisal. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 146: 116506. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116506>
46. Onayemi, S.O., B.K. Hopkins and W.S. Sheppard. 2022. Elevated CO<sub>2</sub> Increases Overwintering Mortality of *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Colonies. *Journal of Economic Entomology*. 115(4): 1054-1058. <https://doi.org/10.1093/jee/toac065>
47. Page Jr, R.E. and C.Y.-S. Peng. 2001. Aging and development in social insects with emphasis on the honey bee, *Apis mellifera* L. *Experimental Gerontology*. 36(4-6): 695–711. [https://doi.org/10.1016/S0531-5565\(00\)00236-9](https://doi.org/10.1016/S0531-5565(00)00236-9)
48. Qu, M., H. Merzendorfer, B. Moussion and Q. Yang. 2022. Bioinsecticides as future mainstream pest control agents: Opportunities and challenges. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 9: 82-97. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2021404>
49. Ramachandran, R. and B. Schaefer. 2020. Spinosyn insecticides. *ChemTexts*. 6: 1-29. <https://doi.org/10.1007/s40828-020-00113-y>
50. Reddy, P.R., T. Rashmi and A. Verghese. 2015. Foraging activity of Indian honey bee *Apis cerana*, in relation to ambient climate variables under tropical conditions. 36(3): 577-581.

51. Reddy, P.V., A. Verghese and V.V. Rajan. 2012. Potential impact of climate change on honeybees (*Apis* spp.) and their pollination services. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*. 18(2): 121-127.
52. Rembold, H., G.K. Sharma, C. Czoppelt and H. Schmutterer. 1982. Azadirachtin: A potent insect growth regulator of plant origin. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*. 93(1-5): 12-17. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1982.tb03564.x>
53. Sánchez-Bayo, F. (2014). The trouble with neonicotinoids. *Science*. 346(6211): 806-807. DOI: 10.1126/science.1259159
54. Schroeder, D.C. and S.J. Martin. 2012. Deformed wing virus: The main suspect in unexplained honeybee deaths worldwide. *Virulence*. 3(7): 589-591. <https://doi.org/10.4161/viru.22219>
55. Shah, R., A.S. Al Maawali and A. Al Raeesi. 2020. Comparative toxicity of two neonicotinoids and a pyrethroid to forager honeybees (*Apis mellifera* L., 1758) (Hymenoptera: Apidae) by different exposure methods. *Turkish Journal of Entomology*. 44(1): 111-121. <https://doi.org/10.16970/entoted.619263>
56. Sheppard, W.S., M.D. Meixner, W.S.S. Hepparda and M.D.M. Eixnera. 2003. *Apis mellifera pomonella*, a new honey bee subspecies from Central Asia. *Apidologie*. 34:376–375. <https://doi:10.1051/apido:2003037>
57. Sinpoo, C., R.J. Paxton, T. Disayathanoowat, S. Krongdang and P. Chantawannakul. 2018. Impact of *Nosema ceranae* and *Nosema apis* on individual worker bees of the two host species (*Apis cerana* and *Apis mellifera*) and regulation of host immune response. *Journal of insect physiology*. 105: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2017.12.010>
58. Skendžić, S., M. Zovko, I.P. Živković, V. Lešić and D. Lemić. 2021. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
59. Soberón, M. and A. Bravo. 2008. Avoiding insect resistance to Cry toxins from *Bacillus thuringiensis*. ISB News Report.
60. Soderlund, D. M., J.M. Clark, L.P. Sheets, L.S. Mullin, V.J. Piccirillo, D. Sargent, J.T. Stevens and M.L. Weiner. 2002. Mechanisms of pyrethroid neurotoxicity: implications for cumulative risk assessment. *Toxicology*. 171(1): 3-59. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(01\)00569-8](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(01)00569-8)
61. Stanley, D.A., S.M. Msweli and S.D. Johnson. 2020. Native honeybees as flower visitors and pollinators in wild plant communities in a biodiversity hotspot. *Ecosphere*. 11(2): e02957. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2957>
62. Steinigeweg, C., A.T. Alkassab, S. Erler, H. Beims, I.P. Wirtz, D. Richter and J.

- Pistorius. 2022. Impact of a microbial pest control product containing *Bacillus thuringiensis* on brood development and gut microbiota of *Apis mellifera* worker honey bees. *Microbial Ecology*. 85(4): 1300-1307. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-02004-w>
63. Suryanarayanan, S. and D.L. Kleinman. 2013. Be (e) coming experts: The controversy over insecticides in the honey bee colony collapse disorder. *Social Studies of Science*. 43(2): 215-240. <https://doi.org/10.1177/0306312712466186>
  64. Tasei, J.N. 2001. Effects of insect growth regulators on honey bees and non-*Apis* bees. A review. *Apidologie*. 32(6): 527-545. <https://doi.org/10.1051/apido:2001102>
  65. Tosi, S., F.J. Démares, S.W. Nicolson, P. Medrzycki, C.W. Pirk and H. Human. 2016. Effects of a neonicotinoid pesticide on thermoregulation of African honey bees (*Apis mellifera* scutellata). *Journal of Insect Physiology*. 93: 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2016.08.010>
  66. vanEngelsdorp, D. and M.D. Meixner. 2010. A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of Invertebrate Pathology*. 103: S80-S95. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.011>
  67. Wang, Y., L.-T. Ma and B.-H. Xu. 2015. Diversity in life history of queen and worker honey bees, *Apis mellifera* L. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 18(2): 145–149. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.11.005>
  68. Webster, T.C., E.M. Thacker, K. Pomper, J. Lowe and G. Hunt. 2008. *Nosema apis* infection in honey bee (*Apis mellifera*) queens. *Journal of apicultural research*. 47(1): 53-57. <https://doi.org/10.1080/00218839.2008.11101423>
  69. Webster, T.C., K.W. Pomper, G. Hunt, E.M. Thacker and S.C. Jones. 2004. *Nosema apis* infection in worker and queen *Apis mellifera*. *Apidologie*. 35(1): 49-54. <https://doi.org/10.1051/apido:2003063>
  70. Williams, G.R., R.E. Rogers, A.L. Kalkstein, B.A. Taylor, D. Shutler and N. Ostiguy. 2009. Deformed wing virus in western honey bees (*Apis mellifera*) from Atlantic Canada and the first description of an overtly-infected emerging queen. *Journal of invertebrate pathology*. 101(1): 77-79. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.01.004>
  71. Winston M.L. 1987. *The Biology of the Honey Bee*. Harvard University Press.
  72. World Health Organization. 1986. *Organophosphorus insecticides: a general introduction*. World Health Organization.
  73. Yoon, Y.J., E.S. Kim, Y.S. Hwang and C.Y. Choi. 2004. Avermectin: biochemical and molecular basis of its biosynthesis and regulation. *Applied*

microbiology and biotechnology. 63:  
634. <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1491-4>

626-