



Universidad
Católica de
Valencia
San Vicente Mártir

TFG

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN
VETERINARIA**

Evaluación de Estrategias para Combatir *Varroa destructor*: Tratamientos Actuales y Nuevas Perspectivas: Revisión Bibliográfica

Alumna: Laura Lambarri Goñi
Tutor: Ramiro Soler Castillo
Curso académico: 2023/2024



Facultad de Veterinaria
y Ciencias Experimentales
Universidad Católica de Valencia
San Vicente Mártir

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo a los profesores que me han apoyado durante estos años y han confiado en mi desde el primer curso hasta el último. A mi tutor Ramiro por la oportunidad, la confianza y la paciencia, porque antes de yo saber si podría presentar este trabajo él ya estaba seguro de ello. Él fue mi primer profesor de veterinaria en Anatomía I y me hace especial ilusión que haya acabado siendo también el último como mi tutor en el TFG.

A mis amigos, que los mantengo a pesar de los años y la distancia. Con especial cariño a los que he conocido estos dos últimos años y que me han acompañado en la última etapa de la carrera y han hecho que pueda disfrutarla más de lo esperado.

Por último, a mi familia, que siempre estuvo ahí a pesar de las adversidades y la distancia, incluyendo a aquellos que me gustaría que pudieran estar un poquito más cerca. Con especial cariño a mi “amatxu” que tras todos estos años me sigue apoyando en todos mis proyectos y en alguna que otra locura, y que tras volverse experta en playas encajadas ahora también lo es en el problema que supone la *V. destructor*.

Muchas gracias por todo, espero que disfruten del trabajo y puedan aprender un poco más sobre lo maravillosas que son las abejas, y no olviden, como un docente dijo una vez: “el peor mal de una abeja es la alergia al polen” (Sansano, 2022).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
INTRODUCCIÓN	2
Marco histórico	2
Sobre <i>Varroa</i>	3
Taxonomía	3
Ciclo biológico:	4
Epidemiología y situación actual en España	6
Marco reglamentario	9
Evolución de los tratamientos frente a <i>Varroa</i>	10
Tratamientos químicos	10
Tratamientos naturales	11
OBJETIVOS	13
MATERIAL Y MÉTODOS	13
RESULTADOS	15
DISCUSIÓN	20
Medidas actuales	20
Tratamientos farmacológicos	20
Manejo integrado	28
Nuevas líneas de investigación	31
Genética	31
Seimioquímicos	33
Tratamientos naturales a base de organismos	36
CONCLUSIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS	I

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>V. destructor</i> hembra	3
Figura 2: Estadios de <i>V. destructor</i> :.....	5
Figura 3: Ciclo biológico de <i>V. destructor</i> en abeja obrera como hospedador	6
Figura 4: Infección promedio por <i>Varroa spp</i> en los apiarios de España en otoño de 2021	7
Figura 5: Infección promedio por <i>Varroa spp</i> en los apiarios de España en primavera de 2022 .	8
Figura 6: Porcentaje de apiarios y grados de infestación por <i>Varroa destructor</i> diferenciado entre otoño de 2021 y primavera de 2022.	8
Figura 7: Población de ácaros <i>Varroa</i> por muestra de 300 abejas melíferas (<i>Apis mellifera</i>) en diferentes fechas de observación después de la aplicación de amitraz a 2 ml por 1,5 litros de agua.....	21
Figura 8: Diferencia entre el efecto de los productos ácido oxálico y timol sobre la <i>Varroa destructor</i> en estado de dispersión (%) en los días 0 y 16 de evaluación	21
Figura 9: Población de <i>Varroa</i> por muestra de abejas en diferentes fechas de observación después de la aplicación de ácido oxálico a 7,2 ml por colonia de abejas (<i>Apis mellifera</i>) empleando paños como método de aplicación.....	22
Figura 10: Población de ácaros <i>Varroa</i> por muestra de 300 abejas melíferas (<i>Apis mellifera</i>) en diferentes fechas de observación después de la aplicación de flumetrina a 1 tira por colonia .	23
Figura 11: Comparativa de la aplicación de fluvalinato y flumetrina en la población de ácaro <i>Varroa</i> por muestra de 300 abejas melíferas (<i>Apis mellifera</i>) en diferentes fechas de observación después de la aplicación de 2 tiras por colonia	24
Figura 12: Población de ácaro <i>Varroa</i> por muestra de abejas en diferentes fechas de observación después de la aplicación de ácido fórmico al 70% a 10 ml por colonia de abejas (<i>Apis mellifera</i>) cada 2 días	25
Figura 13: Métodos de aplicación de productos acaricidas en apicultura.....	27
Figura 14: Suelo con fondo sanitario.....	30
Figura 15: Raspado de las celdas con crías de zánganos de un cuadro trampa.....	30
Figura 16: Comparación entre las distintas acciones que comprenden el comportamiento de grooming según la especie	31
Figura 17: Atracción de ácaros hacia larvas de obreras L5 y abejas nodrizas en ensayos en placas Petri	35
Figura 18: Infestación de <i>V. destructor</i> en grupos de abejas que recibieron probióticos frente a los que no recibieron probióticos en los meses de marzo, mayo y julio	36
Figura 19: Colonias de abejas melíferas antes y después del tratamiento con conidios de <i>Metarhizium anisopliae</i> según la forma de aplicación.....	37
Figura 20: Porcentaje de infestación de <i>V. destructor</i> en colmenas experimentales en el periodo invernal mediante la aplicación de distintas moliendas vegetales. Dosis aplicada 45 g/colmena	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Recopilación de artículos empleados para la discusión	16
--	----

RESUMEN

Hoy en día la varroosis de las abejas, causada por el ectoparásito *Varroa destructor*, constituye una de las enfermedades más importantes en la apicultura. Es una enfermedad de declaración obligatoria extendida a nivel mundial. Debido a la gran importancia de la enfermedad, se han ido desarrollando tratamientos para combatirla a lo largo de los años.

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo mediante motores de búsqueda especializados en literatura científica: Google Scholar y PudMed, partiendo desde conceptos más amplios hasta centrar la búsqueda en términos más específicos.

Hoy en día el control de la enfermedad se basa en el tratamiento farmacológico y en el manejo integrado. Debido al uso excesivo de fármacos uno de los mayores inconvenientes de estos son las resistencias y los residuos en productos apícolas. Existen variedad de investigaciones sobre otras técnicas que permitan hacer frente a la enfermedad como la mejora genética, el uso de semioquímicos o el empleo de otros organismos como los que conforman los probióticos, hongos o derivados de plantas. Aun así, los resultados no son lo suficientemente concluyentes como para implementar ninguna de estas nuevas técnicas como medida regular y efectiva.

Palabras clave: *V. destructor*, *A. mellifera*, *tratamiento farmacológico*, *manejo*, *técnicas de control*.

ABSTRACT

Bee varroosis it is caused by the ectoparasite *Varroa destructor*, is one of the most important diseases in beekeeping. It is a notifiable disease and it is spread all over the world. Because of impact of the disease, have been developed different treatments to combat *V. destructor*.

The literature search was done using specialized scientific literature search engines: Google Scholar and PubMed, starting with broader concepts and then more specific terms.

Currently, disease control is based on pharmacological treatment and integrated management. However, the excessive use of drugs has led to major issues such as resistance and residues in bee's products. There is a variety of research on alternative techniques to combat the disease, such as genetic improvement, semiochemicals, and the employment of other organisms like probiotics, fungi, or plant derivatives. The results of this research are not conclusive enough to establish these techniques as methods to combat the disease.

Keywords: *V. destructor*, *A. mellifera*, *drug treatment*, *management*, *control techniques*.

INTRODUCCIÓN

Desde hace miles de años la apicultura ha formado parte de la actividad humana en el sector agropecuario mundial por los productos aportados, y por los beneficios asociados a dichos productos como: miel, polen, propóleos, cera y apitoxina. Además, es una práctica de gran relevancia para el medio ambiente por la acción polinizadora que las abejas realizan en los cultivos (Carreño et al., 2013). Esto ha derivado en que las abejas se hayan convertido en una especie productiva más en el mundo de la ganadería, destacando en Europa la especie *Apis mellifera*, conocida comúnmente como abeja europea (Beaurepaire et al., 2017). Al igual que el resto de especies productoras, esta no está exenta de padecer enfermedades bacterianas, víricas, micóticas o parasitarias donde destaca la varroosis, la cual hoy en día supone un grave problema, no solo por las pérdidas ocasionadas por el mismo ácaro, también por su papel como vector de muchos patógenos causantes de enfermedades importantes como la enfermedad de las alas deformadas (*Iflavirus*), la enfermedad de la parálisis aguda (*Aparavirus*) o la enfermedad de la parálisis crónica (Beaurepaire et al., 2017; Organización Mundial de Sanidad Animal, 2023).

Marco histórico

La abeja occidental (*Apis mellifera*) fue introducida en Asia para el negocio de la miel y productos apícolas desde hace más de un siglo. Debido a esta inclusión, *A. mellifera* entró en contacto con una amplia gama de patógenos de las abejas asiáticas, incluyendo el ácaro *Varroa destructor*. Este ectoparásito se estableció exitosamente en su nuevo hospedador y, en consecuencia, se extendió por todo el mundo debido a la trashumancia y a la introducción de la abeja en otros países por motivos de productividad (Beaurepaire et al., 2017).

En España, desde su introducción en el año 1985, la expansión de la varroosis fue muy rápida originando graves pérdidas tanto económicas como de casi la totalidad de las colonias silvestres, por lo que en la actualidad la propia supervivencia de la especie *Apis mellifera* recae en gran medida en los apicultores (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2023a).

Hoy en día, la enfermedad sigue afectando de forma importante a la apicultura, no solo de este país sino del mundo entero, por lo que siguen desarrollándose nuevas estrategias para poder combatirla, partiendo desde el control de la enfermedad y los programas de erradicación, pasando por distintos tratamientos tanto físicos, químicos como biológicos y desarrollando nuevas formas de administración con el fin de evitar residuos de fármacos en los productos y evitar el desarrollo de resistencias (Gómez, 2001; MAPA, 2023a).

Sobre *Varroa*

El género *Varroa*, comprende cuatro especies bien diferenciadas: *V. jacobsoni*, descrita como parásito de *Apis cerana*, abejas de la isla de Java, extendido en Asia; *V. underwoodi*, descrita como huésped de *A. cerana* en Nepal; *V. rindereri* ectoparásito de *A. mellifera Koschevnikovi* en Borneo y *V. destructor* (Figura 1) patógeno de *Apis mellifera scutellata*, éste último distribuido por todos los continentes (Salamanca et al., 2012). Debido a ello, este estudio se centrará más concretamente en *V. destructor* por su amplia distribución mundial y siendo la especie predominante en Europa y España.

Taxonomía (Anderson y Trueman, 2000):

- Reino: Animalia
- Phylum: Arthropoda
- Clase: Arachnida
- Subclase: Acari
- Superorden: Parasitiformes
- Orden: Mesostigmata
- Familia: Varroidae
- Género: *Varroa*
- Especie: *Varroa destructor*



Figura 1: *V. destructor* hembra (flecha) sobre *A. mellifera*. Fuente: OMSA, (2021)

Varroa destructor es un ácaro ectoparásito, que se alimenta de la hemolinfa de los adultos y de los distintos estadios larvarios de la abeja *Apis mellifera* (Damiani & Marcangeli, 2006).

Le caracteriza un dimorfismo sexual en el que la hembra de *Varroa* se diferencia fácilmente del macho por su cuerpo aplastado color marrón rojizo, su forma ovalada y 4 pares de patas más cortas y fuertes que las del macho. La hembra, además, está provista de unas estructuras denominadas apoteles que le permiten fijarse a su hospedador, convirtiéndola en la única que presenta una fase forética y una reproductiva, a diferencia de la hembra inmadura y del macho de *Varroa*, que sólo pueden vivir en las celdillas de cría (Rosenkranz et al., 2010; MAPA, 2023a).

Los machos presentan un cuerpo más pequeño y alargado frente a la hembra. Tienen unas patas más alargadas en relación al cuerpo y un color nacarado. Cabe destacar que los machos de *Varroa destructor* son haploides y únicamente se encuentran en las celdillas de las larvas de las abejas (Rosenkranz et al., 2010; MAPA, 2023a).

Ciclo biológico:

V. destructor carece de etapa de vida libre diferenciándose únicamente una fase forética, donde el ácaro vive sobre el cuerpo de la abeja adulta, y una fase reproductiva que ocurre en las celdas de las crías de la abeja (Rosenkranz et al., 2010).

Durante el ciclo de vida de la *Varroa* se diferencian los siguientes estadios: huevo, protoninfa, deuteroninfa, deutocrisálida y adulto (Figura 2). La hembra del ácaro pasa entre 5 y 12 días en su fase forética hasta que se introduce en una celda sin opercular en el momento en el que su hospedador, una abeja nodriza, está alimentando a las larvas. Este periodo varía en función de la disponibilidad de la cría. Su reproducción depende directamente de la fase de pupa de su nuevo huésped y tarda en promedio 12 días en caso de que la fase reproductiva se de en celdas de abejas obreras y 14 en caso de que las celdas sean de zánganos (Rosenkranz et al., 2010; Beaurepaire et al., 2017).

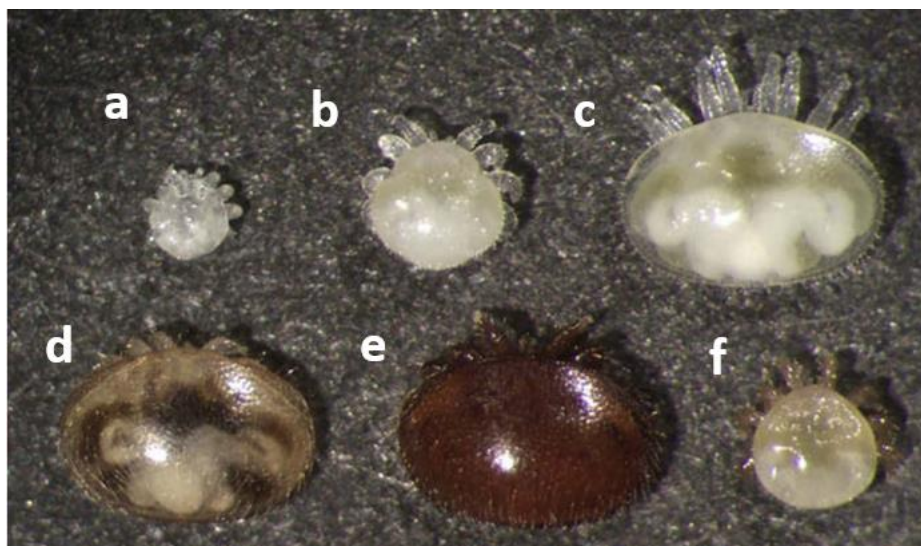


Figura 2: Estadios de *V. destructor*: a) protoninfa; b) deuteroninfa; c) deutocrisálida; d) hembra joven; e) hembra adulta; f) macho adulto. Fuente: Rosenkranz et al., (2010).

Tras 5-12 horas de que la *Varroa* se haya introducido en la celda, esta será operculada. La hembra se alimentará de la linfa de la larva y aproximadamente a las 60 - 70 horas pondrá un huevo haploide del que nacerá un macho. Tras esta primera puesta comenzará a poner un huevo cada 30 horas de los que nacerán hembras. A partir de aquí las larvas de *Varroa* se alimentarán de la hemolinfa de la cría de la abeja y en cuestión de 144 h (6 días) pasarán por todos los estadios hasta el estado de adulto, momento en el que habrán alcanzado la madurez sexual. Llegado ese momento el macho se apareará con las hembras y estas en estado grávido, abandonarán la celda junto con la abeja, mientras que el macho y las hembras no fecundadas mueren. En este momento finaliza la fase reproductiva y comienza la forética (Figura 3) (Beaurepaire et al., 2017; MAPA, 2023a).

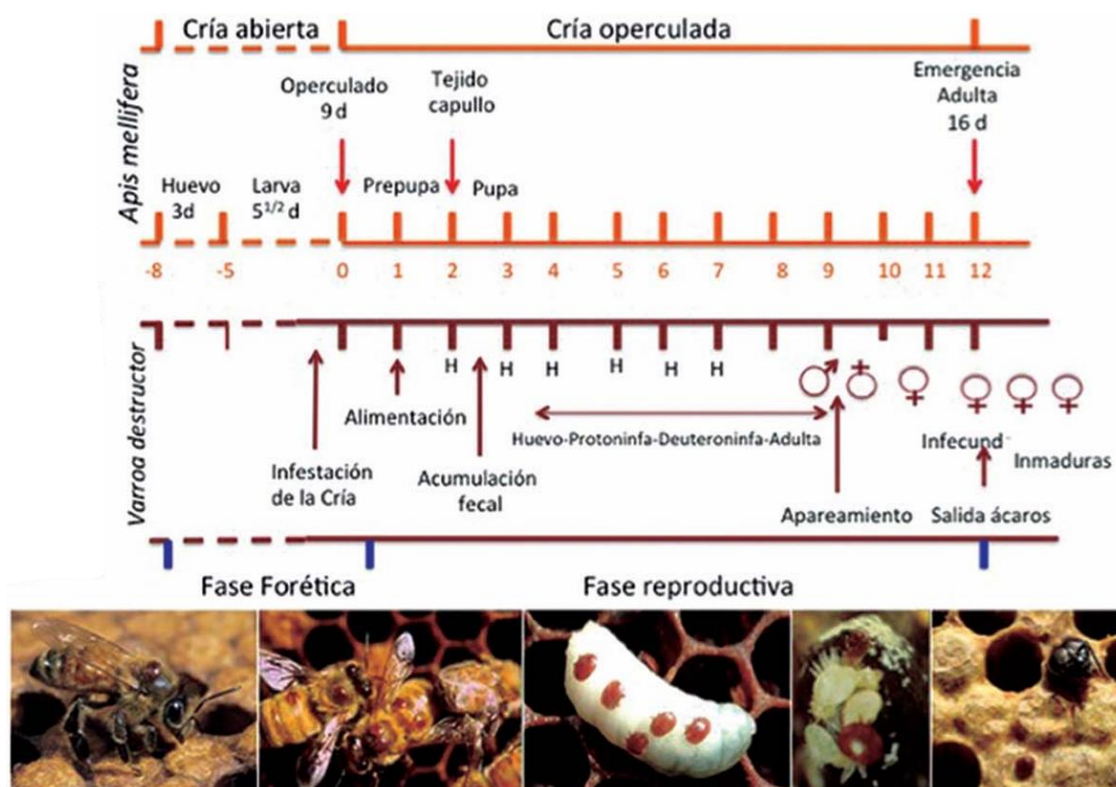


Figura 3: Ciclo biológico de *V. destructor* en abeja obrera como hospedador. Fuente: Salamanca et al., (2012).

En ciclos sucesivos la *Varroa* puede sobrevivir y mantenerse varios meses en la colonia. La esperanza de vida de un ácaro puede variar desde 25 días (en presencia de cría) hasta un máximo de 5 meses (en ausencia de cría) (MAPA, 2023a).

Epidemiología y situación actual en España

Está considerada una enfermedad endémica y de declaración obligatoria (OMSA, 2023).

V. destructor está naturalmente distribuido a nivel mundial desde que en el año 2016 llegó a Australia, único continente que hasta ese momento era libre de la enfermedad (MAPA, 2023b).

Este parásito es tan devastador que si no se trata, las colonias pueden colapsar de 1 a 3 años (Rosenkranz et al., 2010).

Según el último informe de resultados del programa de vigilancia 2021-2022 del MAPA, la evolución de la prevalencia clínica de varroosis a lo largo de las últimas diez campañas ha mostrado variaciones anuales entre el 11,6% y el 26,8%, con un 25,0% en este último informe 2021-2022, y siendo el otoño el periodo en el que se ha encontrado la prevalencia clínica más elevada.

Para este estudio se toma una medida en otoño de 2021 y en primavera de 2022.

- La tasa de infección promedio en los apiarios en otoño de 2021 en España fue de un 97,3%. Se pueden diferenciar distintos grados de infestación transcurriendo estos desde muy débil hasta muy grave (MAPA, 2023b).

Concretamente un 40,4% de los apiarios presentan niveles muy leves o nulos de infestación, siendo Cantabria la única comunidad autónoma que presenta en otoño más del 75% de los apiarios con promedios de infestación muy débiles o nulos. Un 19,7% de los apiarios evaluados en otoño presentan niveles de parasitación moderados a muy graves, porcentaje superior al registrado para la campaña anterior (10,6%) (Figura 4) (MAPA, 2023b).

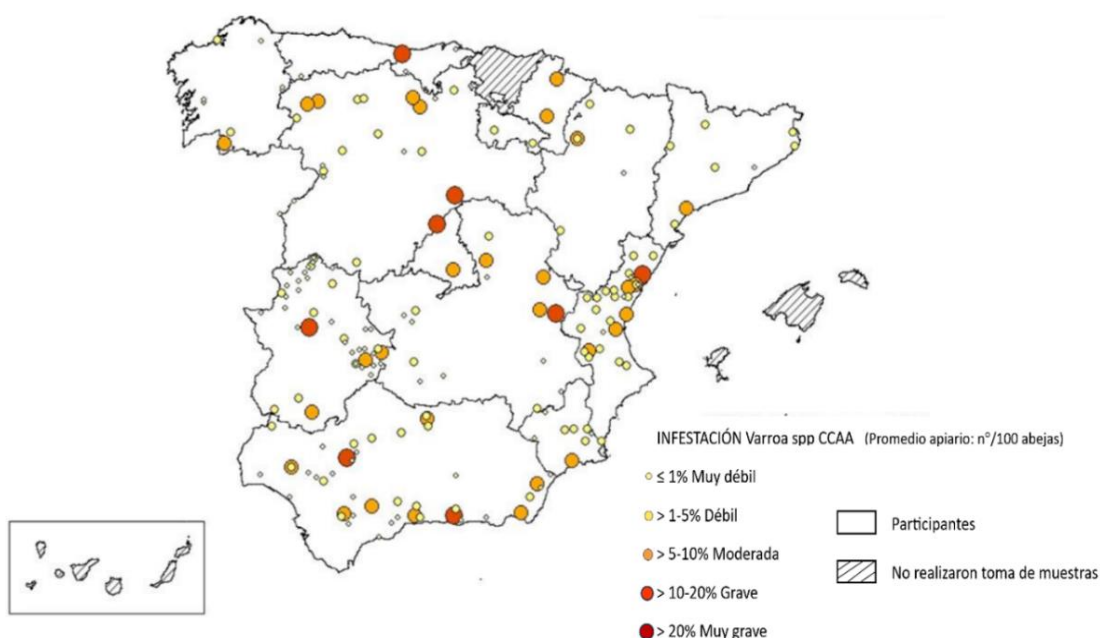


Figura 4: Infección promedio por *Varroa spp* en los apiarios de España en otoño de 2021. Fuente: Adaptada de MAPA, (2023b)

- En cuanto a los datos recabados por este mismo informe para la primavera de 2022, la prevalencia detectada ha sido ligeramente inferior a la registrada en otoño (Figura 6), presentando un 87,4% de parasitación en los apiarios (MAPA, 2023b).

El porcentaje de apiarios con niveles muy leves o nulos de infestación alcanza el 60,2% frente al 40,4% de otoño, siendo superior al 75% en 6 de las CCAA estudiadas: Aragón, Asturias, Cantabria, Castilla y León, Extremadura y La Rioja. Un 8,4% de los apiarios presentan niveles de parasitación moderados a muy graves, porcentaje significativamente inferior al registrado en otoño (19,7%) (Figura 5) (MAPA, 2023b).

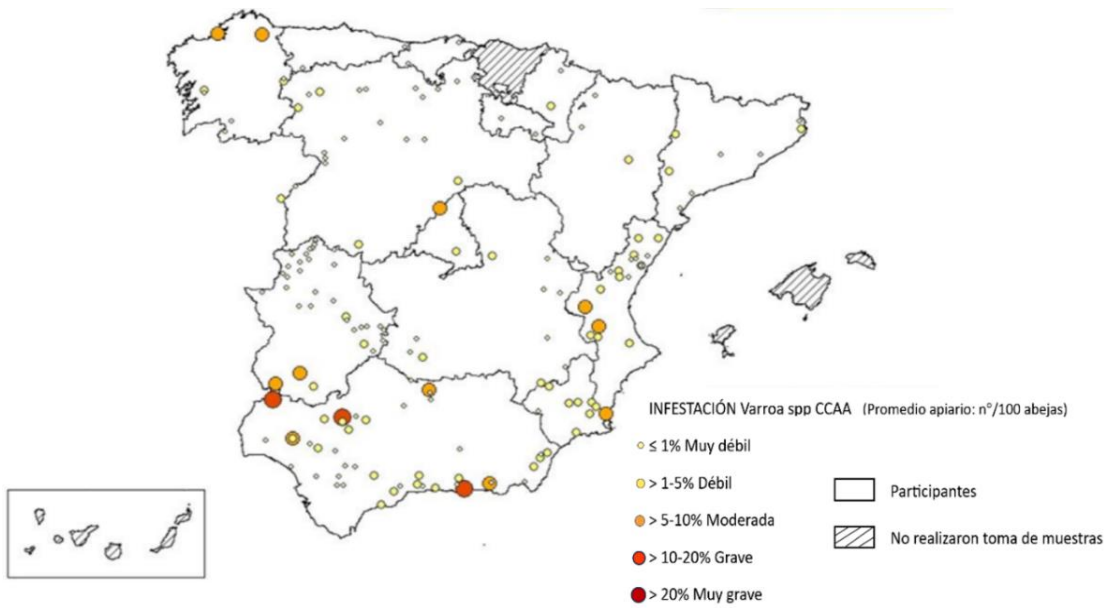


Figura 5: Infección promedio por *Varroa* spp en los apiarios de España en primavera de 2022. Fuente: Adaptada de MAPA, (2023b)

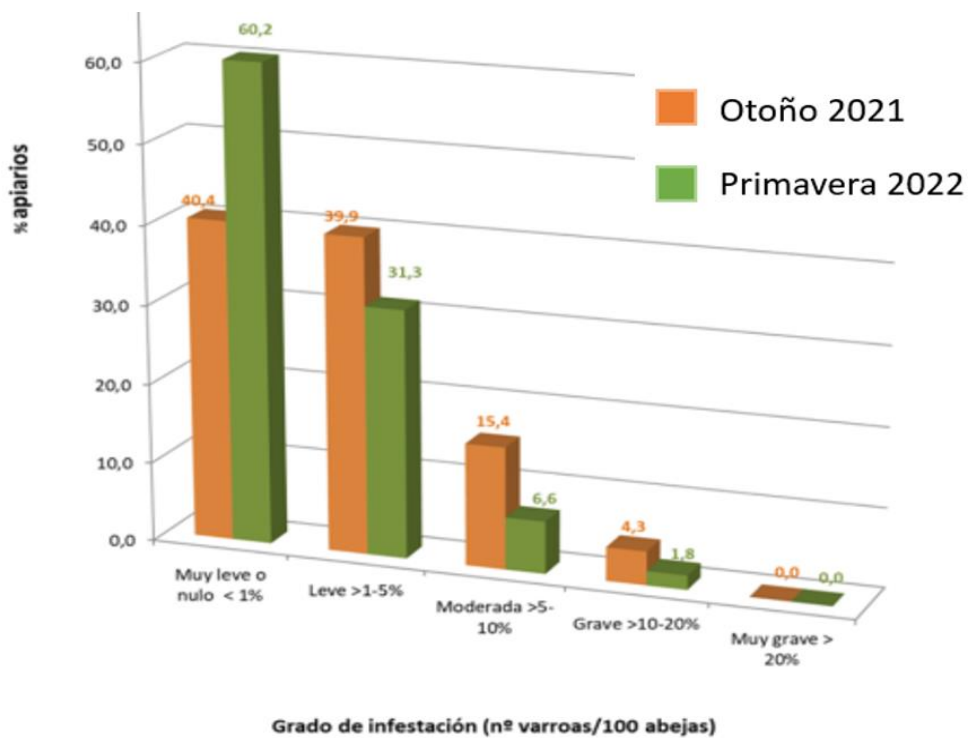


Figura 6: Porcentaje de apiarios y grados de infestación por *Varroa destructor* diferenciado entre otoño de 2021 y primavera de 2022. Fuente: adaptada de MAPA, (2023b)

Marco reglamentario

Es una de las enfermedades de las abejas que están inscritas en la lista del Código Sanitario para los Animales Terrestres de la OMSA y los Países y Territorios Miembros tienen la obligación de notificar los brotes conforme al *Código Sanitario para los Animales Terrestres* de la OMSA.

A nivel europeo está integrada en los siguientes reglamentos genéricos:

- El Reglamento (UE) 2016/429 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2016, relativo a las enfermedades transmisibles de los animales y por el que se modifican o derogan algunos actos en materia de sanidad animal («Legislación sobre sanidad animal»).
- El Reglamento de Ejecución (UE) 2018/1882 de la Comisión, de 3 de diciembre de 2018 relativo a la aplicación de determinadas normas de prevención y control a categorías de enfermedades enumeradas en la lista y por el que se establece una lista de especies y grupos de especies que suponen un riesgo considerable para la propagación de dicha enfermedad de la lista. Siendo por tanto de aplicación medidas inmediatas para su erradicación ante su detección, medidas de prevención durante los movimientos y medidas de vigilancia.
- El Reglamento Delegado (UE) 2020/687 de la Comisión, de 17 de diciembre de 2019, por el que se completa el Reglamento (UE) 2016/429 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo referente a las normas relativas a la prevención y el control de determinadas enfermedades de la lista.
- El Reglamento Delegado (UE) 2020/688 de la Comisión, de 17 de diciembre de 2019, por el que se completa el Reglamento (UE) 2016/429 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo referente a los requisitos zoonosanitarios para los desplazamientos dentro de la Unión de animales terrestres y de huevos para incubar.
- El Reglamento Delegado (UE) 2020/689 de la Comisión, de 17 de diciembre de 2019, por el que se completa el Reglamento (UE) 2016/429 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo referente a las normas de vigilancia, los programas de erradicación y el estatus de libre de enfermedad con respecto a determinadas enfermedades de la lista y enfermedades emergentes.

- El Reglamento Delegado UE) 2020/692 de la Comisión, de 30 de enero de 2020, que contempla el Reglamento (UE) 2016/429 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo referente a las normas para la entrada en la Unión, y para el desplazamiento y la manipulación tras la entrada, de las partidas de determinados animales, productos reproductivos y productos de origen animal.
- El Reglamento de Ejecución (UE) 2020/2002 de la Comisión, de 7 de diciembre de 2020, por el que se establecen normas de desarrollo del Reglamento (UE) 2016/429 del Parlamento Europeo y del Consejo relativas a la notificación a la Unión y al envío de informes a la Unión sobre enfermedades de la lista, al sistema informático de información, así como a los formatos y los procedimientos de presentación y envío de informes relacionados con los programas de vigilancia y erradicación de la Unión y con la solicitud de reconocimiento del estatus de libre de enfermedad.

Por último, a nivel nacional existen las siguientes leyes específicas respecto a la apicultura.

- Real Decreto 930/2017, de 27 de octubre, por el que se regula el régimen de ayudas a la apicultura en el marco de los programas nacionales anuales, y se modifica el Real Decreto 209/2002, de 22 de febrero, por el que se establecen normas de ordenación de las explotaciones apícolas.
- Real decreto 608/2006, de 19 de mayo, por el que se establece y regula un Programa nacional de lucha y control de las enfermedades de las abejas de la miel.

Evolución de los tratamientos frente a *Varroa*

Tras el establecimiento de *Varroa* en las colonias de forma endémica, distintos países comienzan a desarrollar tratamientos y diferentes formas de aplicarlos. Para el año 2000 ya pueden clasificarse en tratamientos químicos o sintéticos y biológicos o naturales (Gómez, 2001).

Tratamientos químicos.

Son de los primeros en desarrollarse. En un principio se implementan los tratamientos denominados de 1ª generación, considerados tratamientos de choque, aplicados en vapores y líquidos. Dentro de este grupo los de mayor reconocimiento son el bromopropilato, cumafós, tiazolina y el amitraz (Gómez, 2001).

Están destinados a hacer frente a la fase forética del parásito. Son desarrollados por países centro-europeos donde, debido a las condiciones climáticas, las colonias de abejas pasan varios meses del año sin criar haciendo que estos tratamientos sean una buena medida para reducir la proporción de *Varroa*. Sin embargo, al implantar estos fármacos en climas más cálidos como los de la cuenca mediterránea, los tratamientos no resultan tan eficaces y tras un mes de su aplicación la proporción del parásito ya se ha recuperado (López i Gelats et al., 2016; Hernández-Rodríguez et al., 2022).

De esta forma, se van descartando los tratamientos de primera generación, algunos por falta de eficacia y otros incluso por peligrosidad como los cumafós. El amitraz si mantiene su uso y se va mejorando la fórmula de manera que pasa a formar parte de un segundo grupo de fármacos conocidos como los tratamientos de 2ª generación: tratamientos largos que se aplican principalmente en tablillas de madera, de plástico o de cartón (Gómez, 2001; Sajid et al., 2019).

Uno de los primeros tratamientos de larga duración desarrollados es el fluvalinato. Tanto el amitraz como el fluvalinato presentan el mismo problema: las resistencias. A pesar de ello, se ve que tras parar el tratamiento durante 2-3 años los fármacos vuelven a tener mayor efecto, pero el tiempo necesario para que el ácaro pierda la resistencia es demasiado largo y la poca variedad de productos dificulta la posibilidad de llevar a cabo una rotación de fármacos (López i Gelats et al., 2016; Hernández-Rodríguez et al., 2022).

Además de los dos fármacos mencionados anteriormente, se desarrollan otros tratamientos, pero algunos compuestos como el clorfenvinfos dejan muchos residuos tóxicos en los productos apícolas por lo que finalmente se eliminan. Además de las resistencias, el problema de los residuos da lugar a empezar a plantearse la utilización de otros compuestos diferentes a los químicos (López i Gelats et al., 2016). Es en este momento cuando empiezan a emplearse tratamientos biológicos con el fin de buscar la forma de hacer frente a la varroosis (Gómez, 2001; López i Gelats et al., 2016).

Tratamientos naturales

Los primeros compuestos naturales en emplearse son los ácidos orgánicos como el ácido oxálico, pero al igual que los tratamientos de primera generación su aplicación solo es eficaz en los periodos donde la abeja no cría, lo que dificulta su eficacia en el clima mediterráneo, siendo solo efectivo tras realizar un tratamiento durante varios días consecutivos logrando interrumpir el ciclo reproductivo de *V. destructor*. Esto hace que su uso en grandes productoras apícolas sea complicado (Gómez, 2001; Carvalho et al., 2022).

Para hacer frente a ese inconveniente se empieza a comercializar el ácido láctico que es efectivo con la pulverización de los paneles 4 veces al año, pero debido a su elevado coste las grandes productoras apícolas tampoco llegan a establecerlo como tratamiento habitual (Fúquene, 2019; Airahuacho et al., 2023).

Se intentan emplear otros ácidos orgánicos que puedan aplicarse mediante vaporizadores como el ácido fórmico, pero además de ser peligroso para las personas, su dependencia de las temperaturas también lo vuelve peligroso para las abejas, ya que por encima de los 30 °C su liberación es excesiva (Gómez, 2001; Airahuacho et al., 2023).

Otro de los compuestos naturales que empieza a emplearse son los aceites esenciales, entre los que destaca el timol, principalmente en soluciones como alcoholes o aceites dejados evaporar dentro de la colmena (Carvalho et al., 2022). El timol parece ser de los productos naturales más útiles en la cuenca mediterránea ya que es de los más eficaces en fase de cría, aunque su efectividad sigue siendo mayor cuando no hay cría en la colmena. El mayor inconveniente de este producto es su dependencia con la temperatura ambiental. Por debajo de 13 -15° C no evapora bien y el tratamiento no es del todo efectivo, mientras que por encima de 30°C, evapora demasiado, llegando incluso a actuar como repelente de abejas (Fúquene, 2019; Sajid et al., 2019).

Debido a la poca duración de muchos de los productos aplicados, al desarrollo de resistencias, a la acumulación de residuos en los productos apícolas y la amplia extensión de la enfermedad a nivel mundial, la lucha contra el parásito se empieza a dirigir hacia un control integrado para mantener la población del parásito en niveles tales que las colonias de abejas puedan soportarlo sin una merma significativa de su estado sanitario y productivo. Finalmente, en 2006 se crea el Real Decreto 608/2006, de 19 de mayo, por el que se establece y regula un Programa Nacional de lucha y control de las enfermedades de las abejas de la miel, donde se expresa la obligación de la aplicación de al menos un tratamiento veterinario anual frente a *Varroa spp* en otoño. De este modo a lo largo del tiempo se implantan estrategias y medidas hasta llegar al plan de lucha que se aplica hoy en día (Sajid et al., 2020; MAPA, 2019).

Junto con estas medidas de control los tratamientos se van adaptando de forma que algunos van desapareciendo mientras que otros se van mejorando hasta llegar a formar parte del listado de medicamentos veterinarios autorizados por la AEMPS para abejas (Anexo 1) (MAPA, 2023a).

OBJETIVOS

Por todo lo anteriormente expuesto, el objetivo general del presente Trabajo Fin de Grado es, mediante una revisión bibliográfica crítica y exhaustiva, realizar una recopilación de los tratamientos principales con los que se podría hacer frente a *V. destructor*.

A su vez el objetivo principal se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar cuáles son los distintitos tratamientos establecidos hoy en día para hacer frente al parásito.
2. Comparar dichos tratamientos y conocer su eficacia actual.
3. Conocer los beneficios e inconvenientes de los tratamientos disponibles hoy en día.
4. Recopilar otras técnicas o líneas de investigación para hacer frente a *V. destructor* y conocer la eficacia e inconvenientes de esas técnicas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para poder obtener los resultados mostrados en el siguiente apartado se llevó a cabo una búsqueda de información la cual se realizó de la siguiente manera:

En primer lugar, se consultaron páginas webs oficiales como el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y la Organización Mundial de Sanidad Animal con el fin de conocer el estado actual de la enfermedad y los tratamientos que se realizan hoy en día.

Tras conocer la información general sobre actuaciones actuales y sobre otras líneas de investigación distintas a lo aplicado hoy en día, se procedió a ampliar dicha información mediante motores de búsqueda especializados en literatura científica: Google Scholar y PudMed. Se partió primero de una búsqueda más amplia al respecto, mediante la que se determinaron los fármacos autorizados en España (Anexo 1), las técnicas de manejo integrado que se practican y conceptos sobre los que se habían hecho estudios desde la presencia *de V. destructor* en las abejas melíferas. A partir de aquí se buscaron artículos que trataran más concretamente sobre dichos fármacos y técnicas de forma individual o que realizaran comparativas entre ellos.

Criterios de inclusión

- Artículos sobre fármacos que hayan sido publicados a partir del 2018, tras la última publicación de la lista de medicamentos veterinarios autorizados en España por la AEMPS para abejas.
- Artículos que tratan sobre fármacos pertenecientes al listado de medicamentos veterinarios autorizados por la AEMPS para abejas.
- Artículos que se centran en tratamientos o métodos para hacer frente a *V. destructor* distintos a los farmacológicos y manejo integral posteriores al año 2000.
- En caso de que los artículos tratan sobre nuevos estudios, metodologías o fármacos que mostraran resultados experimentales para hacer frente a la enfermedad.
- Artículos que mostraran la efectividad y/o ineficacia de los tratamientos.
- Publicados en inglés y/o castellano.
- Artículos que tratan de un único tratamiento o de varios y su comparativa.

Criterios de exclusión

- Artículos sobre fármacos anteriores a la última publicación oficial de fármacos autorizados en España para abejas publicada en AEMPS en 2018.
- Artículos cuyo tratamiento no estuviera autorizado en España.
- Artículos sobre nuevas técnicas o tratamientos, los cuales no se hayan llegado a poner en práctica de manera experimental en dicho artículo o en otros.
- Artículos previos a la aparición de *V. destructor* en España.
- Artículos de idiomas diferentes al castellano o inglés.
- Artículos de pago.

RESULTADOS

En total se consultaron 113 artículos de los cuales se seleccionaron 43 (Tabla 1).

En cuanto al análisis bibliométrico, de estos artículos consultados 10 se emplearon para obtener información sobre los fármacos autorizados por al AEMP, 10 para conocer el manejo integrado y 23 aportaron resultados sobre nuevos estudios de investigaciones para hacer frente a *V. destructor*.

Estos artículos se realizaron en distintas regiones del mundo ya que la varroosis es un problema a nivel global y de esta manera se pudo obtener información sobre la evolución de los tratamientos en distintos países hasta llegar a la situación actual. Además, hay una serie de artículos específicos sobre el uso de fármacos en España, de esta forma se pudieron obtener resultados sobre el transcurso de los tratamientos empleados para combatir la enfermedad en este país. Estos artículos constituyen 5 de los 10 mencionados anteriormente.

En cuanto a otras metodologías y tratamientos que se estudiaron los resultados fueron los siguientes:

- Mejora genética: 7 artículos.
- Estudio de semioquímicos: 5 artículos.
- Tratamientos naturales a base de organismos: 11 artículos.

Finalmente destacar que todos los artículos seleccionados cumplen los criterios de inclusión a excepción de Rothenbuhler con el artículo “Behavior genetics of nest gleaning in honey bees. Iv. Responses of F₁ and backcross generations to disease-killed brood” (1964); y el artículo de Moritz: “Re-evaluation of the Two Locus Model for Hygienic Behavior in Honeybees (*Apis mellifera L.*)” (1988). Se decidió incluir estos artículos debido a que fueron los primeros autores que mencionaron los genes relacionados con el comportamiento higiénico de la abeja tal como se desarrolla en el apartado de discusión.

Tabla 1: Recopilación de artículos empleados para la discusión. En azul artículos específicos sobre los tratamientos farmacológicos en España; En rojo artículos específicos sobre mejora genética; En verde artículos específicos sobre el empleo de semioquímicos; En naranja artículos específicos sobre el desarrollo de tratamientos a base de organismos.

Elaboración propia.

	Autor	Artículo	Fecha
Tratamientos farmacológicos actuales	Airahuacho F., et al	Evaluación de productos alternativos naturales en el control de la <i>Varroa destructor</i> en abejas melíferas (<i>Apis mellifera</i>).	2023
	Carvalho, M. A., et al.	Eficacia del tratamiento combinado de amitraz y flumetrina en control de la varroosis.	2022
	Reyes, F., et al.	Eficacia de cuatro acaricidas sobre el ácaro <i>Varroa destructor</i>	2020
	Sajid, Z. N., et al.	Efficacy assessment of soft and hard acaricides against <i>Varroa destructor</i> mite infesting honey bee (<i>Apis mellifera</i>) colonies, through sugar roll method	2020
	Zikic, B., et al.	Anti-Varroa Efficiency of Coumaphos and Its Influence on Oxidative Stress and Survival of Honey Bees	2020
	Asociación Española de Apicultores.	Check Mite y posible falta de sensibilidad de Varroa.	2018
	Blanc, R.	Varroosis. Monitoreo, manejo y medicamentos	2023
	Calatayud, F., et al.	Hacia un control integrado y sostenible contra <i>Varroa</i> (1)	2021a
	Calatayud, F., et al.	Hacia un control integrado y sostenible contra <i>Varroa</i> (2)	2021b
	Hernández-Rodríguez, C. S., et al.	Resistance to amitraz in the parasitic honey bee mite <i>Varroa destructor</i> is associated with mutations in the β -adrenergic-like octopamine receptor.	2022
Técnicas de manejo	Bubnič, J., et al.	Three pillars of <i>Varroa</i> control.	2021
	Floris, I., et al.	How the infestation level of <i>Varroa destructor</i> affects the distribution pattern of multi-infested cells in worker brood of <i>Apis mellifera</i> .	2020
	Gregorc, A., & Sampson, B.	Diagnosis of Varroa Mite (<i>Varroa destructor</i>) and Sustainable Control in Honey Bee (<i>Apis mellifera</i>) Colonies	2019

Técnicas de manejo	Madrigal-Hernández, M., et al.	Efecto individual y combinado del panal trampa, cambio de reina, buenas prácticas de manejo sobre la varroosis en colmenas de <i>Apis mellifera</i> linnaeus, 1758 (hymenoptera: apidae) en Villa Clara, Cuba.	2021
	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación	<i>Guía técnica para para la lucha y control de la varroosis y uso responsable de medicamentos veterinarios contra la varroa.</i>	2019
	Mortensen, A. N., et al.	Old strategies as modern solutions, shook swarming reduced <i>Varroa destructor</i> infestation rates of managed honey bee, <i>Apis mellifera</i> , colonies.	2023
	Oddie, M. A. Y., et al.	Cell size and <i>Varroa destructor</i> mite infestations in susceptible and naturally-surviving honeybee (<i>Apis mellifera</i>) colonies.	2019
	Roth, M. A., et al.	Biology and management of <i>Varroa destructor</i> (Mesostigmata: Varroidae) in <i>Apis mellifera</i> (Hymenoptera: Apidae) colonies.	2020
	Underwood, R., & López-Urbe, M.	Métodos para el control de <i>Varroa destructor</i> : un enfoque de manejo integrado de plagas.	2023
	Van der Steen, J., & Vejsnæs, F.	<i>Varroa</i> Control: A Brief Overview of Available Methods.	2021
Otras líneas de investigación	Arechavaleta-Velasco, M. E., et al.	Resultados e impacto de la investigación en genética y mejoramiento genético de las abejas melíferas desarrollada por el INIFAP en México	2021
	Guzman-Novoa, E., et al.	The process and outcome of the Africanization of honey bees in Mexico: Lessons and future directions	2020
	Moritz, R. F. A.	A re-evaluation of the two locus model for hygienic behavior in honeybees (<i>Apis mellifera</i> L.).	1988
	Nates-Parra, G.	Genética del comportamiento: abejas como modelo	2011
	Reyes, J.E., et al.	Comportamiento higiénico y grooming, métodos de estudio de varroosis en apiarios de Corrientes.	2023

Otras líneas de investigación	Rothenbuhler, W. C.	Behavior genetics of nest gleaning in honey bees. IV. Responses of F1 and backcross generations to disease-killed brood.	1964
	Zefferino, I.	Evaluación del comportamiento de grooming en dos razas de abejas melíferas (<i>Apis mellifera</i>) como mecanismo de resistencia al ácaro ectoparásito <i>Varroa destructor</i> .	2012
	Pernal, S. F., et al.	Semiochemicals influencing the host-finding behaviour of <i>Varroa destructor</i>	2005
	Sánchez, M. en C. A.	Estudio de los factores fisicoquímicos que influyen sobre la disponibilidad y distribución ambiental de semioquímicos de <i>Apis mellifera</i> que atraen a <i>Varroa destructor</i> .	2021
	Vacas, S.	Uso de semioquímicos en el control de plagas. Estudios básicos y de aplicación.	2011
	Vilarem, C., et al.	<i>Varroa destructor</i> from the laboratory to the field: Control, biocontrol and IPM perspectives.	2021
	Wagoner, K., et al.	Hygiene-eliciting brood semiochemicals as a tool for assaying honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony resistance to <i>Varroa</i> (Mesostigmata: Varroidae).	2021
	Añón, G.	Efecto de la administración de un probiótico sobre distintos patógenos que afectan la salud de las abejas melíferas.	2018
	Francisco-López, D.	Revisión de la situación actual de la Varroasis y tratamientos sostenibles para su control y prevención en México.	2022
	García, M. J., et al.	Field efficacy of acaricides against <i>Varroa destructor</i> .	2017

Otras líneas de investigación	García-Vicente, E. J., et al.	Effect of feed supplementation with probiotics and postbiotics on strength and health status of honey bee (<i>Apis mellifera</i>) hives during late spring.	2023
	García-Vicente, E. J., et al.	Evaluation of the potential effect of postbiotics obtained from honey bees against <i>Varroa destructor</i> and their combination with other organic products.	2024
	Koumad, S., & Berkani, M. L	Assessment of the efficacy of four medicinal plants as fumigants against <i>Varroa destructor</i> in Algeria.	2019
	Reyna-Fuentes, J., et al.	Hytotherapy an alternative to pest and disease control of bees.	2021
	Reyna-Fuentes, J., et al.	Effect of three vegetable grinds against the <i>Varroa destructor</i> mite in colonies of <i>Apis mellifera</i> .	2022
	Reyna-Fuentes, J., et al.	Secondary compounds of plants and their effect against the <i>Varroa destructor</i> mite.	2023
	Rodríguez, M., et al.	Evaluation of <i>Metarhizium anisopliae</i> var. <i>anisopliae</i> Qu-M845 isolate to control <i>Varroa destructor</i> (Acari: Varroidae) in laboratory and field trials.	2009 ^a
	Rodríguez, M., et al.	Selection of Entomopathogenic Fungi to Control <i>Varroa destructor</i> (Acari: Varroidae).	2009 ^b

DISCUSIÓN

En base a los artículos consultados se redacta la discusión en la que se hace la siguiente distinción:

Por un lado, se muestran las medidas más empleadas en la actualidad para hacer frente al parásito.

Por otro lado, mediante los artículos mencionados en el apartado anterior se obtiene información sobre nuevas líneas de investigación dirigidas tanto a controlar, manejar o eliminar el parásito como en comprender mejor las características de *V. destructor* para poder emplear nuevas técnicas que permitan controlar la infestación.

Medidas actuales

Las principales herramientas de control del parásito hoy en día se basan en el tratamiento farmacológico y en el manejo integrado sobre las colmenas infestadas.

Tratamientos farmacológicos

Según las fuentes consultadas, se realiza una comparativa de los fármacos estudiados y se obtienen los siguientes resultados:

Comenzando por el amitraz, la revista Agrárias (2022) expresa que en 2014 el amitraz fue el principio activo más efectivo, con una eficacia superior al 95% en el 87% de las colonias tratadas. Sin embargo, los datos de 2020 muestran que el mismo producto comercial a base de amitraz tuvo una efectividad superior al 95% solo en el 49% de las colonias tratadas, al igual que ocurría con otros productos elaborados a base de amitraz (Carvalho et al., 2022).

Estudios en otras regiones muestran que la aplicación de amitraz en colmenas de abejas durante el período de escasez de recursos y de disminución de la cría mantuvo la población de ácaros por debajo del umbral económico (6 ácaros por 300 abejas) hasta 21 días, luego los ácaros comenzaron a aumentar (Figura 7). Este estudio desvela por tanto que el amitraz es una buena herramienta para hacer frente a la *Varroa* de forma exitosa en periodos de escasez o cuando la población de abejas se ve disminuida (Sajid et al., 2020).

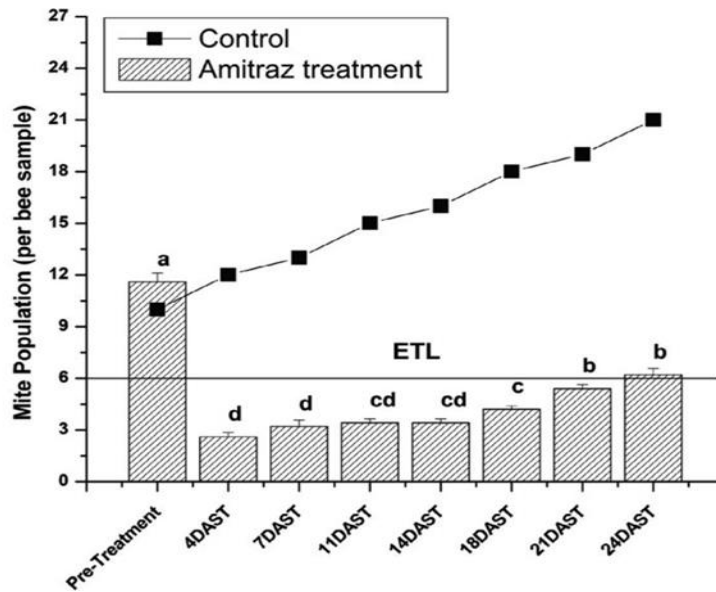


Figura 7: Población de ácaros *Varroa* por muestra de 300 abejas melíferas (*Apis mellifera*) en diferentes fechas de observación después de la aplicación de amitraz a 2 ml por 1,5 litros de agua. Siendo: ETL = Nivel de umbral económico; DAST = Días después del inicio del tratamiento. Fuente: Sajid et al., (2020)

Por último en cuanto al amitraz, también existen otras investigaciones en otras regiones del planeta como Perú, que afirman que hay fármacos más eficaces que el amitraz. Según estos autores, el cumafós aplicado en tiras plásticas y el timol en cristales, son los productos más eficaces contra *Varroa destructor* forética, sin diferencias significativas entre ellos, pero sí con respecto al ácido oxálico, también aplicado en cristales y al amitraz (tiras plásticas) (Figura 8) (Reyes et al., 2020). Cabe destacar, que en cuanto a tratamientos para hacer frente al ácaro en celdas operculadas el acaricida que en este estudio muestra una eficacia significativa es al ácido oxálico 16 días tras la aplicación (Airahuacho et al., 2023).

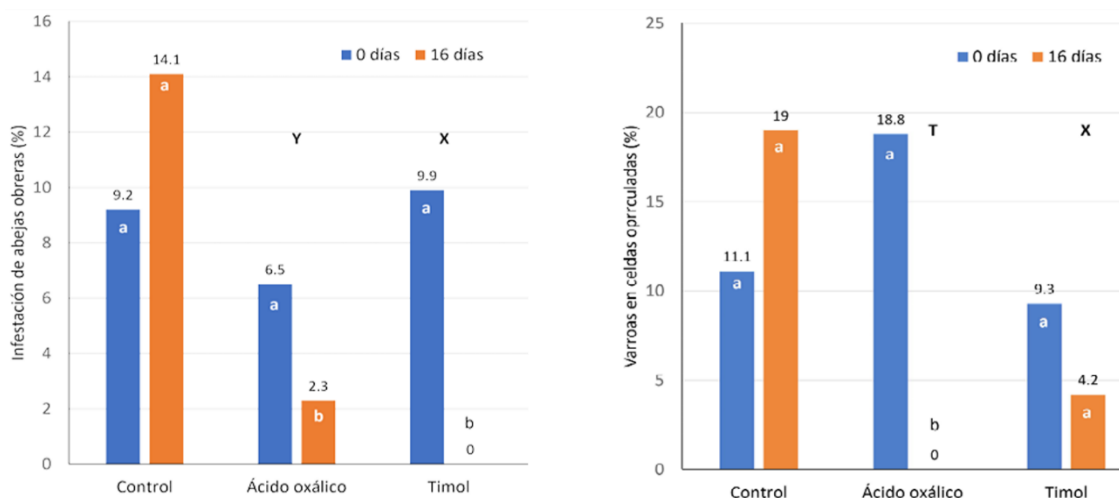


Figura 8: Diferencia entre el efecto de los productos ácido oxálico y timol sobre la *Varroa destructor* en estado de dispersión (%) en los días 0 y 16 de evaluación. a) Eficacia en abejas obreras; b) eficacia en celdas operculadas.

En otros estudios sobre al ácido oxálico en los que se aplica mediante paños durante el invierno, se encontró que era eficaz para mantener los ácaros por debajo de 6 ácaros por 300 abejas hasta 14 días (Figura 9). Este método puede ser una alternativa prometedora a la sublimación y la aplicación por goteo. La aplicación de ácido oxálico no se repitió teniendo en cuenta que la exposición prolongada a este ácido puede presentar efectos nocivos para las abejas adultas (Sajid et al., 2020).

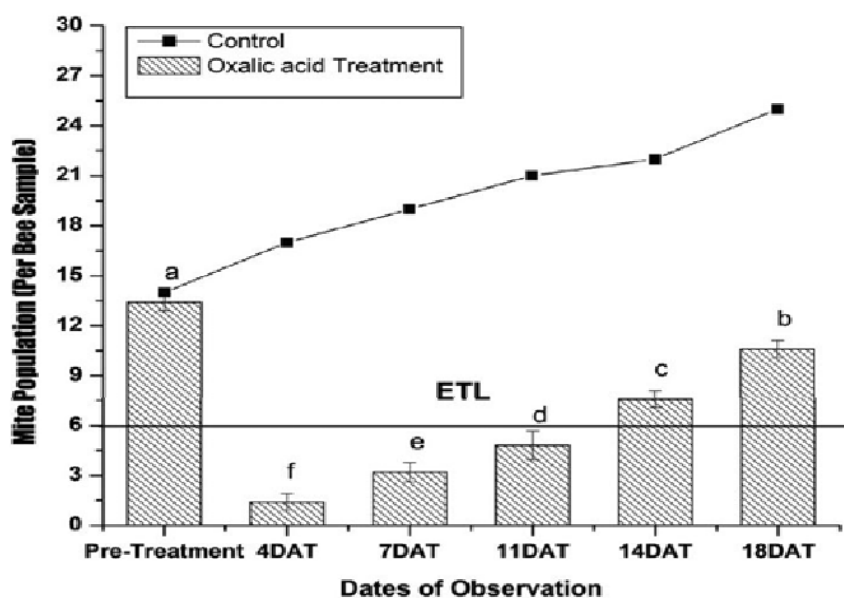


Figura 9: Población de *Varroa* por muestra de abejas en diferentes fechas de observación después de la aplicación de ácido oxálico a 7,2 ml por colonia de abejas (*Apis mellifera*) empleando paños como método de aplicación. Siendo: ETL = Nivel de umbral económico; DAT = Días después del tratamiento. Fuente: Sajid et al., (2020).

Por el contrario, hay estudios realizados en otras regiones del planeta que contradicen lo expuesto en el artículo de Sajid et al., (2020). En investigaciones realizadas en Serbia se afirma que en colonias moderadamente infestadas con ácaros *Varroa*, durante la época de cría el tratamiento con timol no es del todo satisfactorio y que el uso de tiras de cumafós provoca una mortalidad de *Varroa* significativamente mayor. Por ello, también otros autores sugieren que los acaricidas suaves pueden ser completamente satisfactorios en la apicultura a la hora de combatir infestaciones moderadas (Zikic et al., 2020).

En cuanto a los resultados obtenidos con respecto a la flumetrina se encuentran valores de eficacia bastante dispares. En Canadá se han reportado valores promedio de eficacia del 96,5%, a pesar de ello destaca la gran variabilidad en los valores afirmada en el propio estudio, situándose estos valores entre el 58,7% y el 100%. En Croacia se registran valores mucho más

bajos, entre el 22,8% y 56,2% de efectividad, coincidiendo en ambos casos en el modo de aplicación de la flumetrina: tiras plásticas (Carvalho et al., 2022).

En regiones asiáticas, donde el fluvalinato y la flumetrina son los acaricidas más utilizados, se han realizado estudios respecto a su actual efectividad en base a la dosis empleada (Sajid et al., 2020; Carvalho et al., 2022): la efectividad de 1 tira de fluvalinato y flumetrina por cada 10 cuadros de colmena muestra que la eficacia de estos tratamientos sólo dura hasta 14 días (Figura 10). Estos hallazgos indican que la aplicación de 1 tira por colonia no es suficiente para controlar la población de ácaros en las colmenas de abejas durante un largo período de tiempo. (Sajid et al., 2020).

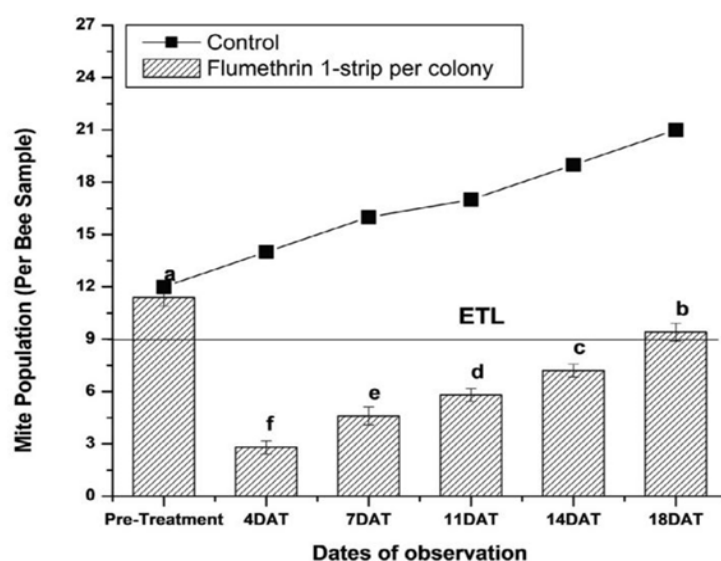


Figura 10: Población de ácaros *Varroa* por muestra de 300 abejas melíferas (*Apis mellifera*) en diferentes fechas de observación después de la aplicación de flumetrina a 1 tira por colonia. Siendo: ETL = Nivel de umbral económico; DAT = Días después del tratamiento. Fuente: Sajid et al., (2020).

Sin embargo, al aplicar 2 tiras de fluvalinato y flumetrina por colonia, el fluvalinato es capaz de controlar los ácaros manteniéndolos por debajo de 3 ácaros/100 abejas hasta cuatro semanas, y la flumetrina sigue siendo eficaz hasta 5,5 semanas (Figura 11). La diferencia en su eficacia en este estudio se atribuye al hecho de que el fluvalinato se ha utilizado contra los ácaros desde las últimas tres décadas en las regiones en las que se llevó a cabo la investigación, por lo que, debido a la larga exposición y a las abundantes aplicaciones, los ácaros pueden haber desarrollado cierta resistencia contra estos acaricidas. Esta eficacia se ha mantenido incluso en los periodos donde la población de abejas es mayor, en colonias altamente infestadas y con cría operculada (Sajid et al., 2020).

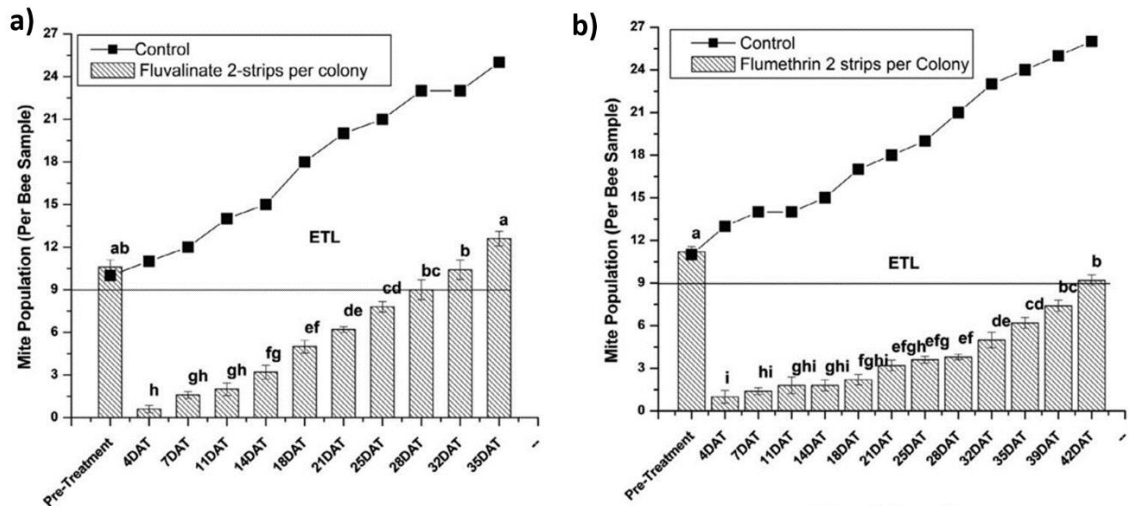


Figura 11: Comparativa de la aplicación de fluvalinato y flumetrina en la población de ácaro *Varroa* por muestra de 300 abejas melíferas (*Apis mellifera*) en diferentes fechas de observación después de la aplicación de 2 tiras por colonia. a) Población de ácaro *Varroa* después de la aplicación de fluvalinato a 2 tiras por colonia b) Población de ácaro *Varroa* después de la aplicación de flumetrina a 2 tiras por colonia.

Finalizando con este grupo, los resultados obtenidos sobre el ácido fórmico mencionan que el ácido fórmico al 70% es muy efectivo para mantener los ácaros por debajo del ETL (6 ácaros por 300 abejas) durante 28 días (Figura 12) (Sajid et al., 2020). En este estudio además se destaca que también fue aplicado en tiras plásticas, las cuales resultaron ser mucho más prometedoras que las aplicadas en tiras de cartón, ya que estas últimas resultan ser más peligrosas tanto para el aplicador como para las abejas (Reyes et al., 2020; Sajid et al., 2020). De esta manera, se aplica ácido fórmico durante un período de escasez de alimentos cuando la población de abejas es menor. La eficacia promedio fue superior al 95%, con un nivel máximo del 99% y no tuvo efectos secundarios en las larvas, las abejas adultas ni las reinas, lo que permite que el medicamento se pueda emplear con las crías durante toda la temporada de actividad de las abejas (Sajid et al., 2020).

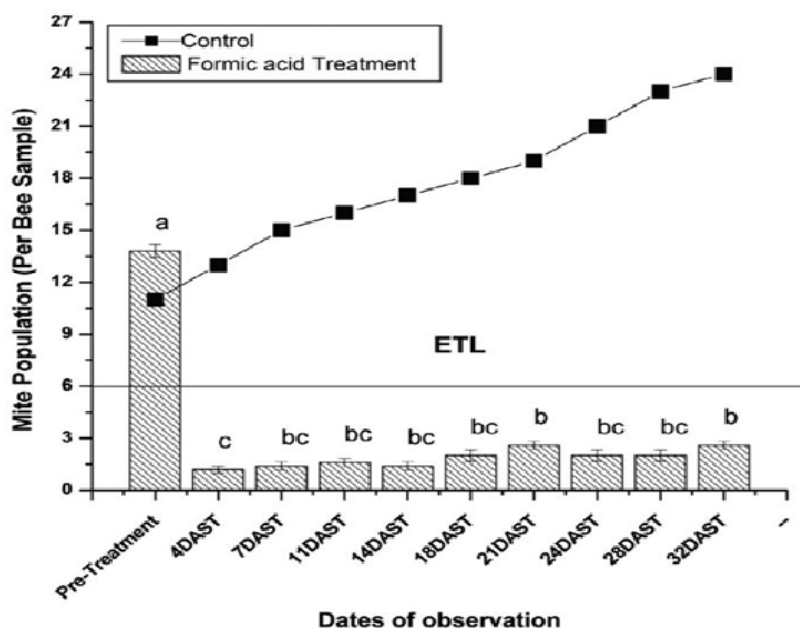


Figura 12: Población de ácaro *Varroa* por muestra de abejas en diferentes fechas de observación después de la aplicación de ácido fórmico al 70% a 10 ml por colonia de abejas (*Apis mellifera*) cada 2 días. Siendo: ETL = Nivel de umbral económico; DAST = Días después del inicio del tratamiento.

Situación en España

En cuanto a los estudios realizados en España frente a tratamientos a base de fármacos contra la *Varroa* los resultados obtenidos son los siguientes:

El amitraz es el producto que más se ha estado utilizando durante las últimas décadas (Hernández-Rodríguez et al., 2022). El principal modo de empleo es mediante tiras de celulosa de forma que proporcionan continuamente el ingrediente activo. Desde hace años hay casos de baja eficacia compatibles con la existencia de ácaros resistentes (Blanc, 2023). Según el último estudio publicado por la agrupación de defensa sanitaria apiADS (2021) esas resistencias están relacionadas con características fisicoquímicas de la sustancia activa. Por un lado, es muy inestable, se descompone con rapidez y no persiste en la cera; por otro, el producto de degradación del amitraz que más se detecta en los análisis de residuos es el DMF, es más hidrosoluble y puede sufrir un lavado durante la fabricación de las láminas de cera, reduciendo significativamente su carga. Parece ser, que esta molécula es la misma que se ha usado contra la *Varroa* desde 1985 (Calatayud et al., 2021a). Sin embargo, los estudios reportan que el amitraz conserva todavía una eficacia reseñable siempre que se den condiciones favorables como una escasa presencia de cría y siempre que el apicultor no haya hecho un uso intensivo de este

acaricida. Esto explica el hecho de que a lo largo de los años la detección de fallos en el producto no haya sido un proceso lineal. (Calatayud et al., 2021a; Hernández- Rodríguez et al., 2022).

En cuanto a alternativas al amitraz, los acaricidas que con más frecuencia se usan son el ácido oxálico, el timol y el ácido fórmico. La acción acaricida del timol y el ácido fórmico dependen en gran medida de la evaporación y están muy influenciados por la temperatura ambiente. Estas limitaciones llevan a que el uso del ácido oxálico sea el más empleado en España e incluso en Europa cuando se trata de volúmenes productivos más grandes. Concretamente ahora se emplean dos métodos de aplicación principalmente (Calatayud et al., 2021b):

- Aplicación por goteo (Figura 13 b): consiste en mezclar el principio activo con un jarabe azucarado y se aplica en forma de gotas entre los cuadros de la colmena (Blanc, 2023). Existen varias marcas comerciales que pueden aplicarse mediante este sistema y todas ellas son aptas para periodos sin cría a excepción del producto VarroMed el cual es apto también durante periodos de cría, aunque la eficacia en ese momento resulta menor y más variable (Calatayud et al., 2021b; Blanc, 2023).
- Aplicación por sublimación (Figura 13 c): hoy en día el único producto autorizado de ácido oxálico en España aplicado mediante este método es el Apiboxal, el cual también existe para aplicación por goteo. En ambos casos debe aplicarse sin cría (Blanc, 2023). Aunque los estudios parecen mostrar una mayor eficacia con este método de aplicación, los resultados también muestran mayor variación, y la eficacia del producto parece depender del tipo de sublimador usado, del volumen de las colmenas, en los obstáculos que encuentra el gas hasta que llega a las abejas o incluso algunos autores comentan que la acción acaricida puede verse influida por la humedad ambiental. (Calatayud et al., 2021b).

En España, al igual que el amitraz, el fluvalinato es uno de los productos que más se ha empleado durante años y por tanto, en este también se reportan problemas en cuanto a su eficacia (Hernández-Rodríguez et al., 2022). Concretamente el Apistan fue el primer medicamento registrado en España y hoy en día aún se emplea. Este se aplica mediante tiras y presenta un importante beneficio: el tiempo de supresión de este medicamento es de cero días, lo que hace que durante muchos años fuera uno de los tratamientos de elección y se empleara de forma indiscriminada (Calatayud et al., 2021a; Blanc, 2023). Como consecuencia, los ácaros tienen un contacto persistente con el acaricida. Ahora mismo se estima que la eficacia del fluvalinato ronda el 70-76%, la cual no es suficiente para hacer frente al parásito (Calatayud et al., 2021a).

En cuanto a la flumetrina, la aplicación de este producto es mediante tiras (Figura 13 a) (Blanc, 2023). En España no es tan empleado como los mencionados anteriormente (Calatayud et al., 2021a). Concretamente el fármaco Polyvar, elaborado a base de flumetrina, es de los últimos en comercializarse y tiene nuevas funciones como el evitar la entrada del propio ácaro en la colmena (Blanc, 2023). Esto además de disminuir la cantidad del parásito en las colonias evita que en caso de picaje entren ácaros de otras colmenas, los cuales pueden ser transmisores de virus diferentes o presentar resistencias a otros fármacos. Es un mecanismo poco estudiado (Hernández-Rodríguez et al., 2022). El hecho de que las flumetrinas no se empleen en tanta cantidad como los anteriores da lugar a que la presencia de resistencia también sea menor (Calatayud et al., 2021a).

Por último, los cumafós, a pesar de estar autorizados en España, ahora mismo únicamente hay una marca comercial: Check Mite, el cual está prácticamente en desuso, ya que desde 2015 la eficacia de este era inferior al 70% debido a la resistencia por parte del parásito (Asociación Española de Apicultores 2018; Calatayud et al., 2021a).

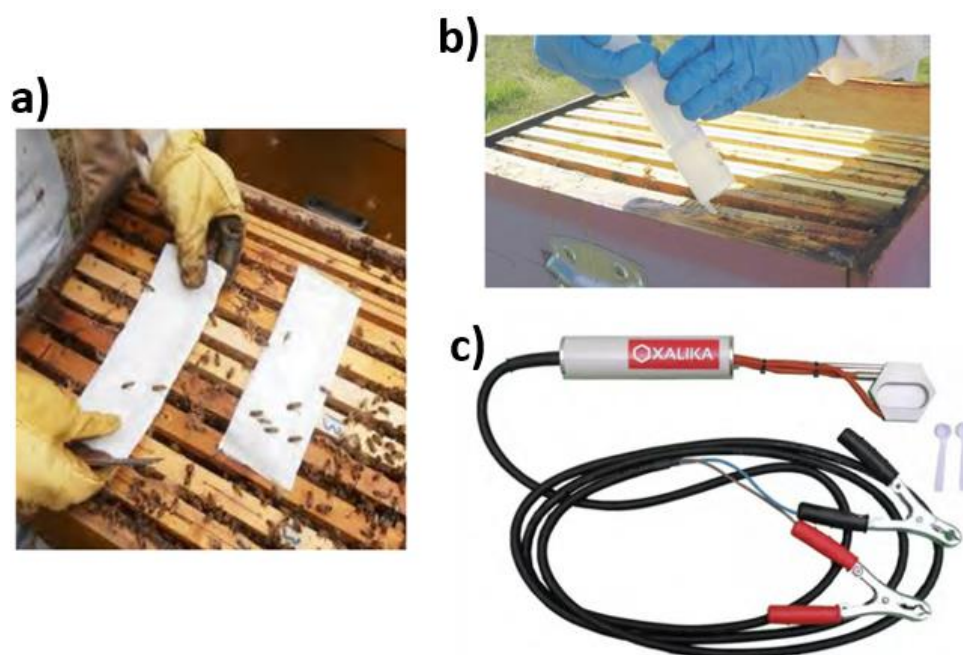


Figura 13: Métodos de aplicación de productos acaricidas en apicultura: a) Aplicación mediante tiras; b) Aplicación por goteo; c) Aplicación mediante sublimador.

Manejo integrado

Son una serie de técnicas basadas en métodos mecánicos o de manejo cuya finalidad es reducir la cantidad de la *Varroa* en las colonias a la vez que se trata de reducir la cantidad de productos químicos que se han empleado durante décadas (Gregorc y Sampson, 2019; Underwood y López-Uribe, 2023).

Una de las mayores ventajas de estas técnicas frente a los medicamentos es la posibilidad de emplearlos en periodos de flujo de néctar y de comercialización de la miel, ya que no dejan residuos en los productos apícolas (Bubnic et al., 2021).

Sin embargo, está demostrado que aplicarlos por si solos no es suficiente para mantener la población de *Varroa* bajo unos límites seguros para la colmena durante todo el año (Gregorc y Sampson, 2019; Bubnic et al., 2021).

Hoy en día existen diferentes técnicas que permiten reducir la cantidad de *Varroa* y controlar el grado de infestación de las colonias, permitiendo a los apicultores llevar ellos mismos dicho control (Roth et al., 2019).

Debido a la importancia creciente de estas técnicas en España el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación publica la *Guía técnica para la lucha y control de la varroosis y uso responsable de medicamentos veterinarios contra la Varroa*, donde se recopilan muchas de estas técnicas:

- Interrupción de la reproducción de la colonia: este método se basa en que dicha interrupción repercute significativamente en el número de celdas disponibles que tiene *Varroa* para reproducirse y continuar su ciclo (MAPA, 2019; Floris et al, 2020). Al disminuir el número de celdas disponibles, no solo se evita la reproducción del ácaro, también implica que los ácaros presentes en la colmena se mantengan en su fase forética donde son susceptibles a los tratamientos acaricidas (Bubnic et al., 2021). Si la interrupción de la reproducción de la colonia es realizada en el tiempo correcto, tiene el potencial de aliviar el estrés provocado por el ácaro durante el periodo de escasez de alimento (Underwood y López-Uribe, 2023). Existen varias técnicas para lograr esta interrupción:
 - o Enjaular la reina: de esta manera se consigue un parón artificial de la cría, siendo más recomendado cuando de forma fisiológica se da la interrupción de esta en la colmena (MAPA, 2019). Este método es más económico que otros como el uso de cuadros trampa, aunque presenta inconvenientes como la captura y manipulación de la reina o la ruptura de la puesta, ya que es difícil estimar el

- tiempo que tardará la colmena en recuperar su población óptima y rentable en cuanto a nivel productivo (Roth et al., 2019).
- Enjambrazón artificial: mediante la enjambrazón se divide la colmena en dos colonias. La colonia que permanezca en la colmena se quedará con la cría operculada, pero sin reina, de forma que en esta colmena permanecerá la mayoría de *Varroa* con una importante prevalencia del ácaro en fase reproductiva (MAPA, 2019). A su vez, la ausencia de reina detendrá la puesta hasta tener una nueva reina, lo que evitará que durante ese periodo el parásito pueda reproducirse (MAPA, 2019; Mortensen et al., 2023). Idealmente, la otra colonia además de la reina debería constituirse por paneles de cría no operculada, de forma que la población de ácaros sea escasa y en su mayoría forética, siendo susceptible a distintos acaricidas (Mortensen et al., 2023).
 - Retirar la cría operculada: mediante esta técnica se disminuye el grado de infestación a la vez que se crean las condiciones ideales para la aplicación de los acaricidas (MAPA, 2019; Van der Steen y Vejsnaes, 2021).
- Retirada de zánganos: la *Varroa* tiene preferencia por las celdas de los zánganos para su fase reproductiva (Van der Steen y Vejsnaes, 2021). Hay estudios que muestran que cuando en celdas de obreras la media de ácaros se sitúa entre 1.3-1.4 crías, la de los zánganos asciende a 2.2-2.6 (Underwood y López-Urbe, 2023). Además, el período de atracción de la cría de zánganos es de 40-50 horas, frente a las 15-30 horas en el caso de las obreras (Underwood y López-Urbe, 2023). Esta práctica en España sólo es recomendable a finales de la primavera-verano (MAPA, 2019). Esta técnica debe realizarse en el momento en el que la reina de forma natural comienza a poner huevos de macho. Es ahí cuando deben colocarse los cuadros específicos con una lámina estampada de celdillas de zángano para favorecer la ovoposición de la reina en dicho cuadro. Cuando la cría está operculada, se habrá llenado de *Varroa*, momento en el que hay que retirarlos antes de que nazcan (MAPA, 2019; Underwood y López-Urbe, 2023). Estudios como el de Madrigal-Hernández (2021) mencionan que esta técnica empleada correctamente puede llegar a eliminar el 60 % del parásito.
 - Cuadros trampa: mediante esta técnica se fuerza a la reina a criar en un cuadro concreto para que los ácaros únicamente dispongan de cría en una zona de la colmena y solo puedan reproducirse en ese cuadro. Tras el operculado de las crías este cuadro es retirado y con él un gran número de ácaros que habrán parasitado las crías de *A. mellifera* previamente (Van der Steen & Vejsnaes, 2021). Esta crianza forzada se realiza de forma consecutiva en otros dos cuadros más. El principal problema de este método

es que requiere visitas cada 9 días para retirar los cuadros operculados y cambiar a la reina de cuadro. Por otro lado, se deja a la colmena sin cría durante todo el periodo de aplicación y puede debilitar a la colonia si se lleva a cabo en una mala época (MAPA, 2019).

- Tableros /suelos sanitarios (Figura 15): los ácaros que están sobre abejas adultas se caen naturalmente como resultado de su movimiento dentro de la colonia y del comportamiento de limpieza de las abejas. Los tableros sanitarios consisten en una serie de suelos perforados que hacen que una vez el ácaro se haya caído sea más complicado que vuelva a subirse a la abeja (MAPA, 2019; Underwood y López-Urbe, 2023).
- Disminuir el tamaño de celdas: algunas investigaciones sugieren que el número de ácaros por celda es menor al disminuir el tamaño de las celdas, ya que el periodo del estadio de la pupa es más corto y se generan un menor número de ácaros por celda (Underwood y López-Urbe, 2023). Aunque hay estudios que demuestran su eficacia todavía muestra controversia en la literatura científica (Oddie et al., 2019; Underwood y López-Urbe, 2023).
- Azúcar en polvo: se ha descrito que el espolvorear azúcar en polvo sobre las abejas puede servir como un método para el control de los ácaros por estimulación del comportamiento higiénico en las abejas. Uno de los principales inconvenientes es la necesidad de mano de obra. Los estudios consultados muestran que este método no es eficaz para controlar la población de *Varroa destructor* por sí solo, y aunque sí que ha mostrado un aumento en la caída de ácaros parece resultar más efectivo como método diagnóstico del grado de infestación de la colmena (Van der Steen y Vejsnaes, 2021; Underwood y López-Urbe, 2023).



Figura 14: Suelo con fondo sanitario. Fuente: MAPA, (2019)



Figura 15: Raspado de las celdas con crías de zánganos de un cuadro trampa. Fuente: Underwood y López-Urbe, (2023).

Nuevas líneas de investigación

Genética

Las abejas asiáticas *A. cerana*, hospedador original de *V. destructor*, poseen mecanismos comportamentales de defensa que mantienen a la población de ácaros dentro de límites óptimos evitando así daños importantes en la colonia (Zefferino, 2012).

Las abejas *A. mellifera* también presentan los comportamientos principales de resistencia encontrados en las abejas asiáticas, aunque son menos eficientes frente a *V. destructor* respecto a su hospedador original (Figura 16) (Reyes et al., 2023).

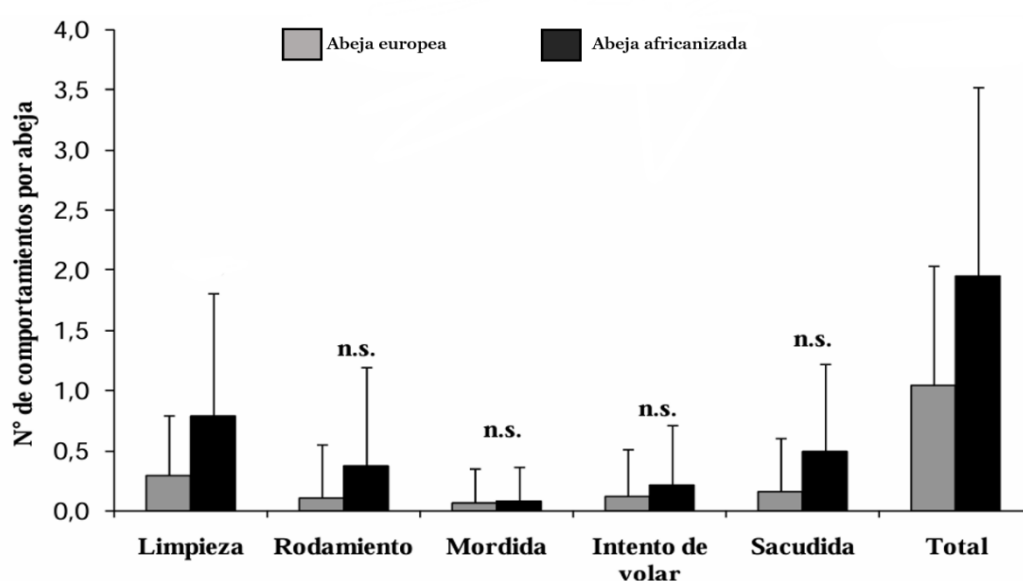


Figura 16: Comparación entre las distintas acciones que comprenden el comportamiento de grooming según la especie. Siendo n.s.= no significativo. Fuente: Zefferino, (2012).

Dentro de estos mecanismos destacan dos comportamientos principales:

- Grooming: está destinado a hacer frente a la fase forética del parásito. El grooming es una estrategia generalizada entre los vertebrados y artrópodos para eliminar ectoparásitos. En las abejas melíferas adultas implica la habilidad de detectar, morder, remover y eliminar la *Varroa* forética que perciban sobre ellas (autogrooming) o sobre sus compañeras (alogrooming), pero este comportamiento es eficaz para la eliminación de cualquier otro parásito o microorganismo que puedan tener en sus cuerpos y pueda resultar dañino para la abeja (Nates-Parra et al, 2011; Zefferino, 2012).

- Comportamiento higiénico: es el mecanismo de defensa que actúa frente a la fase reproductiva de *Varroa destructor* (Zefferino, 2012). Puede definirse como la habilidad que tienen las obreras para detectar, desopercular y remover crías enfermas desde la cámara de cría hacia el exterior de la colmena (Nates-Parra et al, 2011). Cuando las abejas detectan una pupa infectada con *V. destructor*, hacen un agujero en la tapa de la celda, y de este modo liberan al ácaro, o alternativamente, retiran la pupa (Zefferino, 2012; Reyes et al., 2023). Este comportamiento es efectivo frente a otros patógenos que atacan a las crías de las abejas como la ascosferosis o loque americana (Nates-Parra et al, 2011).

Se ha demostrado que la aparición de estos comportamientos está ligada con la genética, concretamente hay una serie de grupos genéticos responsables de la expresión de estos mecanismos defensivos (Arechavaleta-Velasco et al., 2021). A pesar de ello la expresión de esos genes y el número de genes implicados en estos comportamientos sigue sin conocerse del todo (Nates-Parra et al, 2011).

Los primeros estudios realizados en este ámbito muestran dos genes recesivos independientes: uno responsable de desopercular la cría enferma (gen *u*) y el otro responsable de remover la cría enferma fuera del nido de cría (gen *r*) (Rothenbuhler, 1964). En estudios posteriores se amplía el número de genes añadiendo un tercer gen recesivo relacionado con el comportamiento de detección de la *Varroa* sobre el cuerpo de la abeja y despertando el instinto de retirar el parásito de su espalda (Moritz, 1988). Esa variedad e independencia de genes explicaría porqué el comportamiento predominante varía según las colmenas estudiadas (Nates-Parra et al, 2011).

Pero además de estos genes considerados como los principales, hoy en día se conocen otros genes que parecen estar ligados a la expresión de estos comportamientos. Parece ser que las abejas higiénicas poseen mayor sensibilidad olfatoria y son capaces de discriminar entre crías normales y anormales detectando y removiendo crías enfermas, muertas o parasitadas de una manera rápida y eficiente. Lo mismo ocurre con la sensibilidad táctil, visión... Esto sugiere que en la expresión de estos comportamientos podría haber muchos más genes implicados (Nates-Parra et al, 2011; Arechavaleta-Velasco et al., 2021).

Si hay una cosa clara en cuanto a la expresión de estos comportamientos es que *A. cerana* es mucho más eficiente que *A. mellifera*, al igual que lo son la mayoría de especies de abejas africanas. Por ejemplo, en relación al grooming Zefferino (2012) menciona que *A. cerana* elimina más del 99% de los ácaros introducidos en colmenas de observación, mientras que *A. mellifera* solo consigue eliminar el 0,3% de los ácaros mediante esta técnica.

Es por ello que hoy en día se plantea mejorar la expresión de estos comportamientos a través de selección artificial, pudiendo ser esta una alternativa para enfrentar la varroosis. Debido a ello se han empezado a realizar cruces entre diferentes especies de abejas dando lugar a híbridos (Guzmán-Novoa et al., 2020).

De esta forma se crean las abejas africanizadas, que destacan por presentar una mayor tolerancia a la varroosis que las abejas europeas. Estas abejas africanizadas son híbridos de razas europeas (principalmente *A. m. mellifera* y *A. m. ligustica*) y de abejas africanas *A. m. scutellata* (Zefferino, 2012). Estos híbridos parecen mostrar un comportamiento higiénico más alto, casi similar al de las especies africanas. Uno de los inconvenientes principales que se observan en estos cruces es que tienden a manifestarse los comportamientos propios de la abeja africana a nivel general, no solo en lo relativo a la higiene, siendo las colonias de estas abejas más agresivas y con más tendencia a enjambrarse entre otros (Guzmán-Novoa et al., 2020).

Las abejas destacan por su alta capacidad de aprendizaje por lo que también se han realizado estudios en los que se ha tratado de inculcar esa higiene de abejas híbridas o africanas a las europeas (Arechavaleta-Velasco et al., 2021). Asimismo, estos estudios han permitido determinar que las interacciones entre abejas africanas, europeas e híbridas dentro de una misma colonia influyen en el comportamiento, pero el más influenciado es nuevamente el defensivo, haciendo referencia a la capacidad de ataque mediante el picaje a depredadores externos a la colmena, lo que también incluye a personas (Arechavaleta-Velasco et al., 2021; Guzmán-Novoa et al., 2020). Sin embargo, el comportamiento de grooming e higiene no presenta un aprendizaje relevante, aunque si se detecta que las abejas híbridas o africanizadas son capaces de suplir hasta cierta medida la falta de higiene de sus compañeras europeas. (Guzmán-Novoa et al., 2020).

Seimioquímicos

Los semioquímicos son los compuestos químicos implicados en la comunicación entre artrópodos (Vacas, 2011).

La transferencia de información química de un organismo emisor a uno receptor es posible ya que cuando un semioquímico es liberado al medioambiente no permanece estático en el lugar donde ha sido liberado, se dispersa, debido a una serie de fenómenos físicos, químicos y biológicos que favorecen su difusión en el ambiente, permitiendo que sea recibido por el receptor (Sanchez, 2021).

La *Varroa destructor* es capaz de interceptar estas señales químicas emitidas tanto por las abejas como por el resto de miembros de su especie. Mediante estos semioquímicos, el ácaro es capaz de diferenciar las distintas características de los hospedadores: edad, sexo e incluso la tarea asignada en la propia colmena (Vacas, 2011).

Varroa no sólo tiene habilidades de quimiodetección sino que también realiza mimetismo químico para influir en su huésped. Es capaz de evitar la distribución de estas señales químicas; para ello, el ácaro necesita estar en contacto con la cutícula del huésped, lo que le permite secuestrar las sustancias químicas que desprende el hospedador. Por un lado, al impregnarse de dichas sustancias evita ser detectado por las abejas; por otro lado, al secuestrar estas señales disminuye el flujo de información entre las integrantes de la colonia. Esta adaptación sólo tarda 9 h. después del cambio de huésped, al pasar de la fase reproductiva a la forética. Esto implica que, una vez transcurrido ese tiempo, si las abejas no han conseguido eliminar el ácaro del hospedador, será mucho menos probable que lo haga (Vilarem et al., 2021).

El ácaro también recibe semioquímicos de los individuos de su propia especie. Mediante esta información química puede detectar si hay un exceso o escasez de ácaros en la colmena y localiza los semioquímicos desprendidos por las abejas recolectoras para detectarlas y emplearlas como huésped. El ácaro cambia los hidrocarburos de la cutícula de su hospedador de forma que altera su comportamiento y propicia el pillaje, de manera que esto favorece la deriva de la *Varroa* entre distintas colmenas (Vilarem et al., 2021).

Por lo tanto, se ha comprobado la gran importancia de estas sustancias en el comportamiento del ácaro y como éstas pueden influir tanto en contra de los parásitos como a su favor. Es por ello que se han empezado a plantear como una forma de control sostenible frente a plagas, entre las que se incluye *Varroa destructor* (Sanchez, 2021). Ya sea empleándolas para alterar el comportamiento normal del ácaro, para atraerlos y eliminarlos o volverlos selectivos frente a un huésped (Pernal et al, 2005).

Los estudios sugieren que dentro del grupo de semioquímicos el ácaro utiliza principalmente las cairomonas para localizar y parasitar huéspedes larvarios y adultos. Los ácaros de *Varroa* parasitan selectivamente las larvas de abejas melíferas en un período de tiempo estrecho: 15 a 20 h. antes de que las crías se tapen y entre 40 y 50 h. en el caso de los zánganos. Además, los ácaros foréticos muestran preferencias por abejas adultas de una edad específica, ya que los ácaros abandonan fácilmente a las abejas recién emergidas y se transfieren a obreras, generalmente de 3 a 12 días de edad, con mayor preferencia en las obreras nodrizas. Esta selección es posible gracias a que, a falta de un sistema visual, los ácaros se orientan según las

diferencias de olor específicas de cada etapa de los huéspedes vivos. (Pernal et al, 2005; Waggoner et al., 2021).

En base a estos conocimientos, se han realizado una serie de estudios para concretar qué semioquímicos atraen al ácaro y cuáles lo repelen, así como el empleo de otras sustancias que sean capaces de disminuir la captación de estas señales químicas (Sánchez, 2021).

En un estudio realizado por Pernal et al., (2005) tras corroborar la atracción del ácaro por los individuos mencionados anteriormente, comprueban que *Varroa destructor* se siente repelido por las larvas que han sido lavadas con hexano (Figura 17).

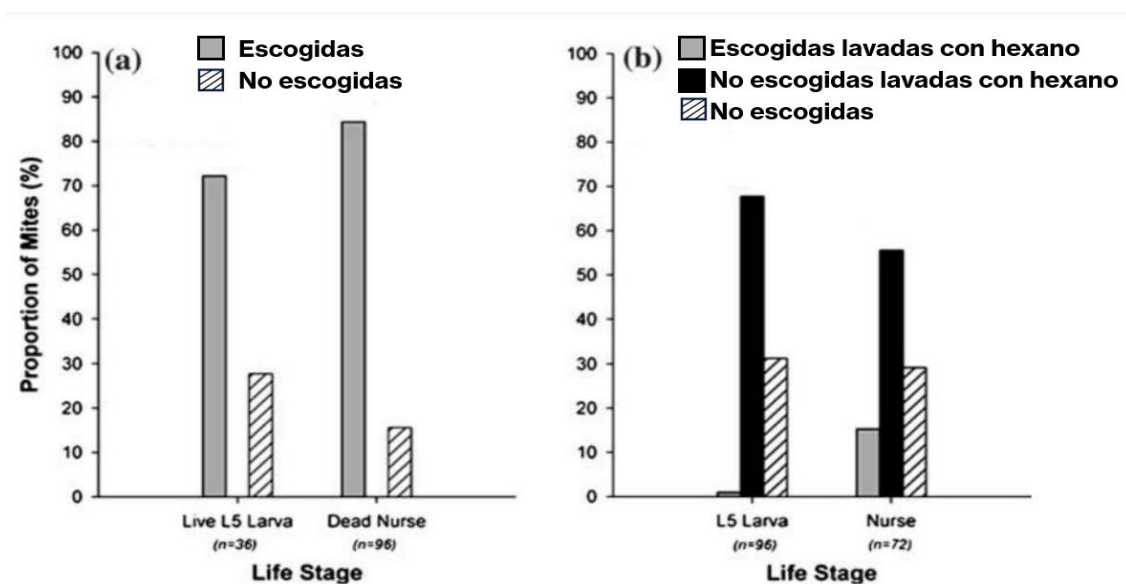


Figura 17: Atracción de ácaros hacia larvas de obreras L5 y abejas nodrizas en ensayos en placas Petri. Siendo n= tamaño muestral. a) Elección de ácaros en larvas L5 y abejas nodrizas sin tratar con hexano. b) diferencia de elección de los ácaros entre larvas L5 y abejas nodrizas bañadas con hexano frente a no bañadas. Fuente: Pernal et al., (2005)

Uno de los individuos menos seleccionados por la *Varroa* son las obreras recolectoras. Mediante este estudio se comprueba que tras poner una corriente con residuos de polen los ácaros invierten su dirección, avanzando en dirección contraria al polen, esto explicaría porqué las recolectoras presentan menos parasitación frente a otros individuos de la colonia (Waggoner et al., 2021).

Las abejas no son las únicas que liberan sustancias químicas, la alimentación de las larvas es una ayuda más para la *V. destructor* a la hora de escoger las celdas a parasitar. El alimento para cría de obrera y zángano contiene ácido 2-hidroxihexanoico, una mezcla volátil que también atrae a los ácaros, por el contrario, el ácaro es bloqueado por los ácidos grasos ω -funcionalizados de la jalea real (Vilarem et al., 2021).

Se ha comprobado que hay una gran variedad de semioquímicos que atraen a los ácaros y que están asociados a distintas funciones: ácido oleico y ácido palmítico (reproducción) o ácido 2-hidroxihexanoico (orientación). Se han realizado estudios con el fin de emplear estos semioquímicos o una mezcla de ellos para atraer al ácaro y así poder atraparlo, pero hasta el momento no se han obtenido resultados óptimos (Pernal et al., 2005; Vilarem et al., 2021).

Tratamientos naturales a base de organismos

Probióticos

Las bacterias que se han empleado en distintos estudios son *Leuconostoc mesenteroides*, *Staphylococcus epidermidis*, *Lactobacillus helsingborgensis*, *Staphylococcus warneri*, *Bacillus velezensis* y *Apilactobacillus kunkeei*, obtenidas a partir del intestino de abejas de colmenas históricamente sanas (Añón, 2018; García-Vicente et al., 2024).

Los resultados muestran que los productos probióticos derivados de bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus helsingborgensis*, *Leuconostoc mesenteroides* y *Apilactobacillus kunkeei*) disminuyen la viabilidad de los ácaros *V. destructor* (Figura 18) (García-Vicente et al., 2024). Sin embargo, varios estudios como el de Añón (2018) destacan que, de todas ellas, la bacteria más eficaz para la reducción del ácaro es *Apilactobacillus kunkeei*. A pesar de ello, hay autores que expresan una gran variación en los resultados, muchos de ellos atribuidos, al igual que en otras especies, a la propia susceptibilidad individual (García-Vicente et al., 2023, 2024).

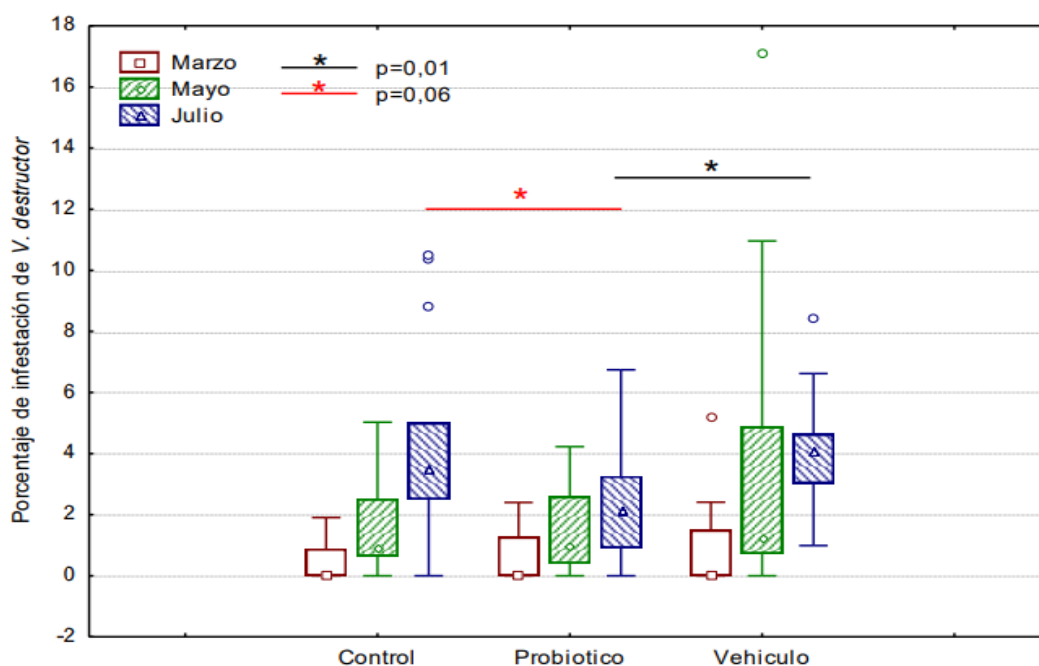


Figura 18: Infestación de *V. destructor* en grupos de abejas que recibieron probióticos frente a los que no recibieron probióticos en los meses de marzo, mayo y julio. Fuente: Añón, (2018).

Hongos

Los hongos han sido otro de los organismos naturales que se han estudiado como plaguicida (Francisco-López, 2022).

En cuanto a las investigaciones relacionadas con *V. destructor*, varios autores coinciden en la eficacia de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*, los cuales ya se emplean en compuestos de insecticidas.

En algunos estudios se han obtenido resultados similares a los que hoy en día se consiguen mediante tratamientos químicos como con el fluvalinato (Figura 19) (Rodríguez et al., 2009a).

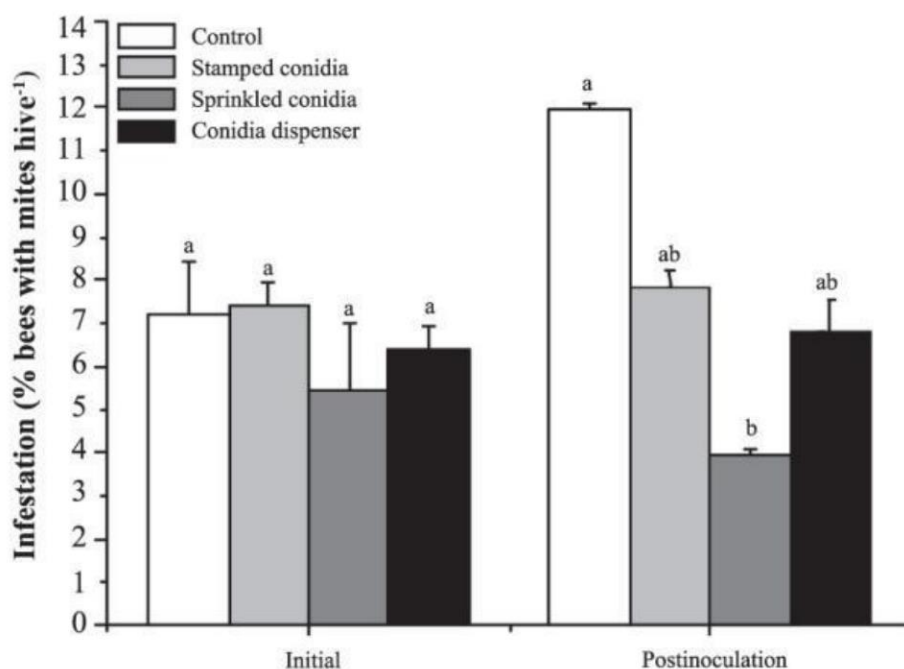


Figura 19: Colonias de abejas melíferas antes y después del tratamiento con conidios de *Metarhizium anisopliae* según la forma de aplicación. Fuente: Rodríguez et al., (2009b).

En otros, sin embargo, la disminución de ácaros es mucho más variable siendo de entre el 20 y el 80%. Esto lo asocian con la virulencia de la cepa del hongo empleada (Francisco-López, 2022).

Hay autores que recalcan que a pesar de la eficacia de los hongos es necesario tener en cuenta el efecto sobre las propias abejas. En un estudio realizado por Rodríguez et al., (2009b) donde se llegan a conseguir resultados de hasta un 90 % menos de *Varroa* en las colonias empleadas también se analizan las abejas muertas durante el estudio, de las cuales un 35% presentan micosis (Rodríguez et al., 2009b).

Plantas

Dada la eficacia previa a resistencias de ciertos fármacos, muchos de ellos a base de compuestos de plantas, hoy en día se siguen investigando nuevas especies vegetales que puedan dar lugar a una alternativa nueva y natural (Francisco-López, 2022).

Se estudian nuevas formas de aplicación, ya sea mediante moliendas, aceites o mediante humo y el aprovechamiento de distintas partes de las plantas como las hojas o incluso frutos secos (Reyna-Fuentes et al., 2021).

En estudios realizados por Reyna-Fuentes et al., (2022), los aceites esenciales de zacate limón, tomillo, romero y menta muestran buena actividad acaricida después de cuatro tratamientos con reducción de la infestación de más del 95 %, y no representan riesgo alguno tanto para la salud de las abejas como para los humanos, aunque es necesario concretar las cantidades más eficaces y rentables que permitan emplear estos productos como tratamiento.

De igual modo, observaron que la utilización de ahumaderos con romero (*Rosmarinus officinalis*), menta (*Mentha viridis*), tomillo (*Thymus pallescens*) y laurel (*Laurus nobilis*) son efectivos para el tratamiento de *V. destructor*, donde el laurel presenta el mayor valor de mortandad (80 %) (García et al., 2017; Reyna-Fuentes et al., 2022).

La eficacia de estas plantas como el romero, el tomillo, el laurel y la menta ha sido corroborada por varios autores como Koumad y Berkans (2019) y Reyna-Fuentes (2023), quienes también afirman haber obtenido buenos resultados frente a infestaciones de *Varroa* con especies como el laurel, el tomillo o el zacate limón u otras especies como el ajo (*Allium sativum*) y el orégano (*Origanum vulgare*) (Figura 20).

Moliendas botánicas*	Días después de la aplicación			
	1	7	14	21
<i>A. sativum</i>	3.52 ± 1.37a	3.07 ± 1.29a	2.66 ± 1.30b	2.07 ± 1.14b
<i>L. nobilis</i>	3.23 ± 0.82a	2.05 ± 1.28ab	2.21 ± 0.45b	1.66 ± 0.52b
<i>O. vulgare</i>	2.68 ± 0.81a	2.55 ± 0.73a	2.40 ± 0.76b	2.19 ± 0.75b
Testigo	3.84 ± 0.73a	4.70 ± 1.59a	5.27 ± 1.22a	5.32 ± 1.16a

Figura 20: Porcentaje de infestación de *V. destructor* en colmenas experimentales en el periodo invernal mediante la aplicación de distintas moliendas vegetales. Dosis aplicada 45 g/colmena. Siendo: Testigo= sin aplicación de tratamientos. Fuente: Reyna Fuentes et al., (2022).

CONCLUSIONES

- Los tratamientos establecidos hoy en día para hacer frente al parásito se centran en los tratamientos farmacológicos y en el manejo integrado. En España estos fármacos están recogidos en el listado de medicamentos veterinarios autorizados por la AEMPS para abejas.
- En España el amitraz y el fluvalinato han sido los más empleados desde hace muchos años, lo que ha dado lugar a problemas de resistencia y eficacia. El cumafós, a pesar de seguir autorizado por AEMPS, es uno de los productos menos empleados ya que desde hace años se reporta una falta de eficacia significativa en España.
- El mayor inconveniente de los tratamientos farmacológicos son los residuos, las resistencias y la escasez de eficacia en periodos de cría. Sin embargo, siguen siendo necesarios para poder mantener el nivel de parasitación de la colmena bajo unos límites óptimos.
- El manejo integrado es una gran herramienta para reducir la cantidad de productos químicos empleados en las colmenas. Existen una gran variedad de técnicas que pueden emplearse en periodos de cría, en distintas condiciones de la colmena o en periodos de flujo de néctar y de producción apícola ya que no dejan residuos. El mayor inconveniente es que no son suficientemente eficaces por si solos para mantener niveles bajos de parasitación durante todo el año.
- Hasta el momento se han investigado muchas otras técnicas para hacer frente al parásito como la mejora genética, el uso de semioquímicos o productos naturales a base de organismos, pero los resultados obtenidos no muestran aún beneficios concluyentes que permitan establecerlos como una medida regular y efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

1. Airahuacho F., Jiménez V., Rubina, S., & Velásquez, C. (2023). Evaluación de productos alternativos naturales en el control de la *Varroa destructor* en abejas melíferas (*Apis mellifera*). *Revista De Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 34(3).
2. Anderson, D. L., & Trueman, J. W. H. (2000). *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae) is more than one species. *Experimental and Applied Acarology*, 24(3), 165-189.
3. Añón, G. (2018). *Efecto de la administración de un probiótico sobre distintos patógenos que afectan la salud de las abejas melíferas* (Tesina para optar al título de Licenciado en Bioquímica). Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, Montevideo, Uruguay.
4. Arechavaleta-Velasco, M. E., García-Figueroa, C., Alvarado-Avila, L. Y., Ramírez-Ramírez, F. J., & Alcalá-Escamilla, K. I. (2021). Resultados e impacto de la investigación en genética y mejoramiento genético de las abejas melíferas desarrollada por el INIFAP en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(3), 224-242.
5. Asociación Española de Apicultores. (2018). Check Mite y posible falta de sensibilidad de *Varroa*. Recuperado de: <https://www.aeapicultores.org/check-mite-y-posible-falta-de-sensibilidad-de-varroa/>
6. Beaurepaire, A. L., Krieger, K. J., & Moritz, R. (2017). Seasonal cycle of inbreeding and recombination of the parasitic mite *Varroa destructor* in honeybee colonies and its implications for the selection of acaricide resistance. *Infection, Genetics and Evolution* 50, 49-54.
7. Blanc, R. (2023). Varroosis. Monitoreo, manejo y medicamentos. Ponencias de la Escuela Agrària de Mas Bové.
8. Bubnič, J., Moosbeckhofer, R., & Prešern, J. et al. (2021). Three pillars of *Varroa* control. *Apidologie*, 52(12), 1305–1333.
9. Calatayud, F., Simó, E., & Domingo, P. (2021 a). Hacia un control integrado y sostenible contra *Varroa* (1). *Apicultura Ibérica*, 27, Agrupación de Defensa Sanitaria ApiADS.
10. Calatayud, F., Simó, E., & Domingo, P. (2021 b). Hacia un control integrado y sostenible contra *Varroa* (2). *Apicultura Ibérica*, 28, Agrupación de Defensa Sanitaria ApiADS.
11. Carvalho, M. A., Almeida, C. M., Afonso, S. M., & Ferreira de Oliveira, J. B. (2022). Eficacia del tratamiento combinado de amitraz y flumetrina en control de la varroosis. *Agrárias*, 8(20), 250-263.
12. Carreño Correa, R. D., & Salazar Mercado, S. A. (2013). Control del Ectoparásito *Varroa destructor* (Varroidae) en *Apis mellifera* L. (Apidae). *Revista De Ciencias*, 17(1), 23–34.

13. Damiani, N., & Marcangeli, J. (2006). Control del parásito *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) en colmenas de la abeja *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) mediante la aplicación de la técnica de atrapado. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 65(1-2), 33-42.
14. Floris, I., Pusceddu, M., & Satta, A. (2020). How the infestation level of *Varroa destructor* affects the distribution pattern of multi-infested cells in worker brood of *Apis mellifera*. *Veterinary Sciences*, 7(3), 136.
15. Francisco-López, D. (2022). Revisión de la situación actual de la Varroosis y tratamientos sostenibles para su control y prevención en México. *Revista de Investigación en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural*, 1(1), 20-25.
16. Fúquene, B.S., (2019). VARROA, un problema de gran impacto a nivel sanitario y productivo en la apicultura, métodos de diagnóstico, tratamientos y prevención. [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Bogotá].
17. García, M. J., Moreno, C., Ferrer, M., Sanz, A., Peribáñez, M. A., & Estrada, R. (2017). Field efficacy of acaricides against *Varroa destructor*. *MÁS UNO*, 12(2).
18. García-Vicente, E. J., Martín, M., Rey-Casero, I., Pérez, A., Martínez, R., Bravo, M., Alonso, J. M., & Risco, D. (2023 a). Effect of feed supplementation with probiotics and postbiotics on strength and health status of honey bee (*Apis mellifera*) hives during late spring. *Research in Veterinary Science*, 159, 237-243.
19. García-Vicente, E. J., Benito-Murcia, M., Martín, M., Rey-Casero, I., Pérez, A., González, M., Alonso, J. M., & Risco, D. (2024 b). Evaluation of the potential effect of postbiotics obtained from honey bees against *Varroa destructor* and their combination with other organic products. *Insects*, 15(1), 67.
20. Gómez, A. (2001). Varroosis. *Acta de la 3ª jornada malagueña de apicultura*. Asociación de apicultores de Guadalhorce.
21. Gregorc, A., & Sampson, B. (2019). Diagnosis of *Varroa* Mite (*Varroa destructor*) and Sustainable Control in Honey Bee (*Apis mellifera*) Colonies. A Review. *Diversity*, 11(12), 243.
22. Guzman-Novoa, E., Morfin, N., De la Mora, A., Macías-Macías, J. O., Tapia-González, J. M., Contreras-Escareño, F., Medina-Flores, C. A., Correa-Benítez, A., & Quezada-Euán, J. J. G. (2020). The process and outcome of the Africanization of honey bees in Mexico: Lessons and future directions. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, Article 304.
23. Hernández-Rodríguez, C. S., Moreno-Martí, S., Almecija, G., Christmon, K., Johnson, J. D., Ventelon, M., & González-Cabrera, J. (2022). Resistance to amitraz in the parasitic honey

- bee mite *Varroa destructor* is associated with mutations in the β -adrenergic-like octopamine receptor. *Journal of Pest Science*, 1-17.
24. Koumad, S., & Berkani, M. L. (2019). Assessment of the efficacy of four medicinal plants as fumigants against *Varroa destructor* in Algeria. *Archivos de Zootecnia*, 68(262), 284-292.
 25. López i Gelats, F., Vallejo Rojas, V., & Rivera Ferre, M. G. (2016). Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la apicultura mediterránea.
 26. Madrigal-Hernández, M., Iazo-Pérez, L., Fimia-Duarte, R., Castro-Betancourt, L., Alarcón-Elbal, P. M., de la Fe-Rodríguez, P. Y., Iannacone, J., & Argota-Pérez, G. (2021). Efecto individual y combinado del panal trampa, cambio de reina buenas prácticas de manejo sobre la varroosis en colmenas de *Apis mellifera* linnaeus, 1758 (hymenoptera: apidae) en Villa Clara, Cuba. *Biotempo*, 18(1), 37–49.
 27. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2019). *Guía técnica para para la lucha y control de la varroosis y uso responsable de medicamentos veterinarios contra la varroa*. 4-9.
 28. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2023a). *Varroosis*. Recuperado el 30 de marzo de 2024, de mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/sanidad-animal-higiene-ganadera/sanidad-animal/enfermedades/varroosis/Varroosis.aspx#:~:text=La%20varroosis%2C%20en%20la%20actualidad,como%20a%20las%20abejas%20adultas
 29. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2023b). *Informe de resultados del programa de vigilancia 2021-2022 sobre las pérdidas de colonias de abejas*. 14-23.
 30. Moritz, R. F. A. (1988). A re-evaluation of the two locus model for hygienic behavior in honeybees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Heredity*, 79, 257-262.
 31. Mortensen, A. N., Jochym, M., Dearden, P. K., & Sainsbury, J. P. (2023). Old strategies as modern solutions, shook swarming reduced *Varroa destructor* infestation rates of managed honey bee, *Apis mellifera*, colonies. *Journal of Apicultural Research*, 1–7.
 32. Nates-Parra, G. (2011). Genética del comportamiento: abejas como modelo. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 213-230.
 33. Oddie, M. A. Y., Neumann, P., & Dahle, B. (2019). Cell size and *Varroa destructor* mite infestations in susceptible and naturally-surviving honeybee (*Apis mellifera*) colonies. *Apidologie*, 50(1), 1-10.
 34. Organización Mundial de Sanidad Animal. (2023a). *Código Sanitario para los Animales Terrestres* (Capítulo 1.3: Enfermedades, infecciones e infestaciones de la lista de la OMSA).

35. Organización Mundial de Sanidad Animal. (2023b). *Manual Terrestre de la OIE* (Capítulo 3.2.7: “Varroosis de las abejas melíferas (infestación de las abejas melíferas por *Varroa* spp.)).
36. Pernal, S. F., Baird, D. S., Birmingham, A. L., Higo, H. A., Slessor, K. N., & Winston, M. L. (2005). Semiochemicals influencing the host-finding behaviour of *Varroa destructor*. *Experimental & applied acarology*, 37(1-2), 1–26.
37. Real Decreto 608/2006, de 19 de mayo, por el que se regula el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica. BOE num. 130, 27116-27124 (2006). Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-9292>
38. Real Decreto 930/2017, de 27 de octubre, por el que se regula el Registro de Productores de Productos Fitosanitarios de Uso Agrario. BOE num. 261, 104550-104561 (2017). Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-12334>
39. Reglamento (UE) 2016/429 del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2016 relativo a las enfermedades transmisibles de los animales y por el que se modifican o derogan algunos actos en materia de sanidad animal. (2016). Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/429/oj>
40. Reglamento de Ejecución (UE) 2018/1882 de la Comisión de 3 de diciembre de 2018 relativo a los requisitos técnicos y los procedimientos administrativos aplicables a los controles oficiales en el ámbito de la cadena alimentaria, incluidos los controles a realizar en los puntos de entrada de productos de origen animal procedentes de terceros países. (2018). Recuperado de https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2018/1882/oj
41. Reglamento de Ejecución (UE) 2020/2002 de la Comisión Europea de 3 de diciembre de 2020 que establece normas técnicas y de ejecución para los controles oficiales en el ámbito de la cadena alimentaria, incluidos los controles a realizar en los puntos de entrada de productos de origen animal procedentes de terceros países. (2020). Recuperado de https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2020/2002/oj
42. Reglamento Delegado (UE) 2020/687 de la Comisión Europea de 28 de mayo de 2020 que complementa el Reglamento (UE) 2016/429 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a las normas técnicas para la identificación y el registro de animales de especies de animales domésticos y en lo que respecta a la normativa sobre el bienestar de los animales. (2020). Recuperado de https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2020/687/oj
43. Reglamento Delegado (UE) 2020/688 de la Comisión Europea de 28 de mayo de 2020 que complementa el Reglamento (UE) 2016/429 del Parlamento Europeo y del Consejo

- en lo que respecta a las normas técnicas y de ejecución para la identificación y el registro de animales de especies animales domésticos y en lo que respecta a las normas técnicas y de ejecución para la normativa sobre el bienestar de los animales. (2020). Recuperado de https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2020/688/oj
44. Reglamento Delegado (UE) 2020/689 de la Comisión Europea de 28 de mayo de 2020 que establece normas técnicas y de ejecución para la vigilancia, la notificación de enfermedades y el diagnóstico de enfermedades transmisibles de los animales. (2020). Recuperado de https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2020/689/oj
 45. Reglamento Delegado (UE) 2020/692 de la Comisión Europea de 28 de mayo de 2020 que establece normas técnicas y de ejecución para las disposiciones detalladas para la operatividad del sistema de alerta rápida para alimentos y piensos. (2020). Recuperado de https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2020/692/oj
 46. Reyes, F., Vargas, J., Martos, A., & Chura, J. (2020). Eficacia de cuatro acaricidas sobre el ácaro *Varroa destructor*. *Anales Científicos*, 81(1), 229-242.
 47. Reyes, J.E., Maggi, M. D., & Salgado, C. R. (2023). Comportamiento higiénico y grooming, métodos de estudio de varroosis en apiarios de Corrientes. *Agrotecnia*, 34(1), 34-50.
 48. Reyna-Fuentes, J., Martínez-González, J., Silva-Contreras, A., López, D., & Castillo-Rodríguez, S. (2021). Phytotherapy an alternative to pest and disease control of bees. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 8, 114-123.
 49. Reyna-Fuentes, J., Martínez-González, J., López, D., & Silva-Contreras, A. (2022). Effect of three vegetable grinds against the *Varroa destructor* mite in colonies of *Apis mellifera*. *Nova Scientia*, 14, 1-10.
 50. Reyna-Fuentes, J., Zapata Campos, C., Merino Charrez, J., López Aguirre, D., & Ascasio Valdéz, J. (2023). Secondary compounds of plants and their effect against the *Varroa destructor* mite. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(1)
 51. Rodríguez, M., Gerding, Marcos, & France, Andrés. (2009a). Selection of Entomopathogenic Fungi to Control *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *Chilean journal of agricultural research*, 69(4), 534-540.
 52. Rodríguez, M., Gerding, M., France, A., & Ceballos, R. (2009b). Evaluation of *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* Qu-M845 isolate to control *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) in laboratory and field trials. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(4), 541-547.
 53. Rosenkranz, P., Aumeier, P., & Ziegelmann, B. (2010). Biology and control of *Varroa destructor*. *Journal of invertebrate pathology*, 103 Suppl 1, 96–119.

54. Roth, M. A., Wilson, J. M., Tignor, K. R., & Gross, A. D. (2020). Biology and management of *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) colonies. *Journal of Integrated Pest Management*, 11(1), 1.
55. Rothenbuhler, W. C. (1964). Behavior genetics of nest gleaning in honey bees. IV. Responses of F1 and backcross generations to disease-killed brood. *The American Zoologist*, 4, 111-123.
56. Sajid, Z. N., Aziz, M. A., Bodlah, I., Rana, R. M., Ghramh, H. A., & Khan, K. A. (2020). Efficacy assessment of soft and hard acaricides against *Varroa destructor* mite infesting honey bee (*Apis mellifera*) colonies, through sugar roll method. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(1), 53-59.
57. Salamanca, G., Osorio, M. P., & Rodríguez, N. (2012). Presencia e incidencia forética de *Varroa destructor* A. (Mesostigma: Varroidae) en colonias de abejas *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae), en Colombia. *Zootecnia Tropical*, 30(2), 183-195. Recuperado en 24 de junio de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692012000200007&lng=es&tlng=es.
58. Sánchez, M. en C. A. Lluvia de Carolina. (2021). *Estudio de los factores fisicoquímicos que influyen sobre la disponibilidad y distribución ambiental de semioquímicos de Apis mellifera que atraen a Varroa destructor* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Doctorado en Ciencias Agropecuarias.
59. Underwood, R., & Lopez-Urbe, M., (2023). Métodos para el control de *Varroa destructor*: un enfoque de manejo integrado de plagas. *PennState Extension*.
60. Vacas, S. (2011). *Uso de semioquímicos en el control de plagas. Estudios básicos y de aplicación* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Centro de Ecología Química Agrícola, Instituto Agroforestal del Mediterráneo.
61. Van der Steen, J., & Vejsnæs, F. (2021). *Varroa* Control: A Brief Overview of Available Methods. *Bee World*, 98(2), 50–56.
62. Vilarem, C., Piou, V., Vogelweith, F., & Vétillard, A. (2021). *Varroa destructor* from the laboratory to the field: Control, biocontrol and IPM perspectives. A review. *Insects*, 12(9), 800.
63. Wagoner, K., Millar, J. G., Keller, J., Bello, J., Waiker, P., Schal, C., Spivak, M., & Rueppell, O. (2021). Hygiene-eliciting brood semiochemicals as a tool for assaying honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony resistance to *Varroa* (Mesostigmata: Varroidae). *Journal of Insect Science*, 21(6), 4.

64. Zefferino, I. (2012). *Evaluación del comportamiento de grooming en dos razas de abejas melíferas (Apis mellifera) como mecanismo de resistencia al ácaro ectoparásito Varroa destructor* (Tesis doctoral, Facultad de Ciencias). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
65. Zikic, B., Aleksic, N., Ristanic, M., Glavinic, U., Vejnovic, B., Krnjaic, I. & Stanimirovic, Z. (2020). Anti-Varroa Efficiency of Coumaphos and Its Influence on Oxidative Stress and Survival of Honey Bees. *Acta Veterinaria*,70(3) 355-373.

ANEXOS

Anexo 1: Listado de medicamentos veterinarios autorizados por la AEMPS para abejas

Nombre del medicamento	Número de registro	Titular de la autorización	Sustancia Activa	Indicaciones
APIVAR	1283 ESP	VETO PHARMA	AMITRAZ	VARROOSIS
APIGUARD	1487 ESP	VITA (EUROPE) LIMITED	TIMOL	VARROOSIS
BAYVAROL 3,6 mg TIRAS PARA COLMENAS	1713 ESP	BAYER HISPANIA, S.L.	FLUMETRINA	VARROOSIS
ECOXAL	1749 ESP	CEVA SALUD ANIMAL, S.A.	OXALICO ACIDO	VARROOSIS
THYMOVAR	1962 ESP	ANDERMATT BIOVET GmbH	TIMOL	VARROOSIS
APISTAN	2680 ESP	VITA (EUROPE) LIMITED	TAU FLUVALINATO	VARROOSIS
CHECKMITE	2737 ESP	BAYER HISPANIA, S.L.	CUMAFOS	VARROOSIS
APITRAZ 500 mg/TIRA PARA ABEJAS	2782 ESP	LABORATORIOS CALIER, S.A.	AMITRAZ	VARROOSIS
MAQS ACIDO FORMICO 68,2 g TIRAS PARA COLMENAS PARA ABEJAS	3031 ESP	NOD EUROPE LTD	ACIDO FORMICO	VARROOSIS
AMICEL VARROA	3157 ESP	LABORATORIOS MAYMO, S.A.	AMITRAZ	VARROOSIS
POLYVAR 275 mg TIRAS PARA COLMENAS	3526 ESP	BAYER HISPANIA, S.L.	FLUMETRINA	VARROOSIS
VARROMED 5 MG/ML + 44 MG/ML DISPERSION PARA COLMENAS DE ABEJAS	EU/2/16/203/001	BEEVITAL GMBH	ÁCIDO FÓRMICO/ ÁCIDO OXÁLICO DIHIDRATO	VARROOSIS
VARROMED 75 MG + 660 MG DISPERSION PARA COLMENAS DE ABEJAS	EU/2/16/203/002	BEEVITAL GMBH	ÁCIDO FÓRMICO/ ÁCIDO OXÁLICO DIHIDRATO	VARROOSIS
OXYBEE 39.4 MG / ML POLVO Y SOLUCION PARA DISPERSION PARA COLMENAS DE ABEJAS	EU/2/17/216/001	DANY BIENENWOHL GMBH	ACIDO OXALICO DIHIDRATO	VARROOSIS