

RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN LA CERA Y EN EL POLEN.

Fernando Calatayud Tortosa

Enrique Simó Zaragoza

Servicios Técnicos de apiADS

Septiembre de 2023



FOTO 1. Polen recién almacenado en el panal o pan de abeja fresco que resalta por su color más vivo, recogido para la analítica de residuos de plaguicidas.

RESUMEN.

La cera de abejas es una materia grasa que retiene los productos orgánicos como los plaguicidas de uso agrario y también los acaricidas usados contra la varroosis. En menor grado, el polen almacenado en el panal o pan de abeja también retiene estos contaminantes. Se presentan y se analizan en este trabajo los resultados de analíticas de plaguicidas en

láminas de cera comercial y en muestras de polen recién almacenado en el panal. En la cera predominan los residuos de acaricidas usados contra la varroosis, que en el muestreo de láminas comerciales realizado en 2022 presentan mayor frecuencia y concentración que los plaguicidas de uso agrario. A pesar de esto, algunos fitosanitarios del grupo de los piretroides detectados presentan una toxicidad muy alta para las abejas. Además de los efectos sobre la viabilidad de la colmena, estos contaminantes mantienen las resistencias de varroa y devalúan la imagen de los productos apícolas. En el caso del polen almacenado, se exponen los resultados de un muestreo realizado en España durante 2016-2018. En el polen también se detectan diversos plaguicidas, pero con menor frecuencia y concentración que en el caso de la cera. Pero la toxicidad que pueden inducir es mayor porque las abejas ingieren toda la carga durante su etapa de nodrizas y pueden afectar también a las larvas a través de la jalea que segregan sus glándulas. Se analiza y se compara la toxicidad potencial de estos contaminantes en la cera y en el polen mediante un modelo que se basa en el cociente de riesgo, HQ, parámetro que se calcula dividiendo la concentración de cada plaguicida por su dosis letal 50 para abejas (DL50). Por último, se comentan algunas alternativas que el apicultor puede poner en práctica para reducir de forma significativa la concentración de estos productos indeseados, disminuyendo sus efectos sobre las abejas y recuperando la imagen de los productos derivados de la apicultura.

1. INTRODUCCION.

La cera de abejas es una materia grasa que retiene los productos orgánicos como los plaguicidas de uso agrario. Antes de la aparición de la varroosis, la problemática de los residuos de plaguicidas en la cera producida y reutilizada por los apicultores quedaba restringida a los productos fitosanitarios que las abejas que pecoreaban en los cultivos introducían en la colmena. A partir de 1986, con la aparición de la varroosis en España y la instauración de los tratamientos acaricidas periódicos, la cera comenzó a captar también estos productos y actualmente son los contaminantes más frecuentes y abundantes y, junto

con los fitosanitarios, forman un cóctel químico con el que las abejas conviven, que además de tener efectos tóxicos sobre los individuos adultos y las larvas, repercute negativamente en la imagen de los productos apícolas.

La cera de los panales actúa como sumidero de los contaminantes orgánicos que llegan a la colmena. A pesar de no ser un producto tan lipófilo como la cera, el polen que las abejas recogen de los cultivos tratados con plaguicidas y que almacenan en los panales en forma de pan de abeja, también capta estos productos y con el tiempo, hay un intercambio de residuos entre las dos matrices de la colmena, cera-pan de abeja: Los fitosanitarios pasan del pan de abeja a la cera y los acaricidas usados contra la varroosis pasan de la cera al pan de abeja. Además de este intercambio pasivo, las abejas con su intenso trasiego en el interior de la colmena pueden transferir estos contaminantes de forma activa a otros panales, al propóleo o a la miel.

La cera mayoritariamente utilizada para fabricar las láminas procede del reciclado de panales viejos, porque la cera de opérculo o sello, al ser más pura y limpia, tiene un alto valor comercial para las industrias cosmética y farmacéutica y se suele exportar a precios muy por encima de lo que pagan los apicultores por las láminas estampadas. Los panales suelen permanecer en la colmena unos 4-6 años, tiempo suficiente para que se acumulen los contaminantes que se tratan en este trabajo. Las concentraciones de estas sustancias suelen ser mayores que las detectadas en el polen almacenado o pan de abeja porque éste tiene una tasa de recambio mayor y suele permanecer en la colmena desde solo unos días a varias semanas, a excepción del pan de abeja de la época invernal en zonas donde hay interrupción de cría en la colmena.

2. ESTADO ACTUAL DE LA PRESENCIA DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN LA CERA.

Para abordar este apartado, vamos a fijarnos en los resultados de diferentes estudios analíticos realizados en diversos países que nos pueden ofrecer una idea sobre la presencia de residuos de plaguicidas en la cera apícola a nivel mundial. Las muestras de cera analizadas pueden

ser de panales extraídos de las colmenas o, preferentemente de muestras de láminas estampadas comerciales (FOTO 2). Estas láminas que son fabricadas a partir de cera reciclada, principalmente de los panales viejos que los apicultores retiran, suelen ofrecer una información más amplia y significativa, al ser muestras de procedencia diversa.



FOTO 2. Láminas de cera estampada usadas por los apicultores.

USA 2019 / (Ostiguy et al., 2019)

Se analizaron 142 muestras de panales. Se detectaron 4 acaricidas usados contra la varroosis: Amitraz, Cumafos, Fenpiroximato y Fluvalinato. También se detectaron 42 fitosanitarios diferentes: 17 insecticidas, 13 fungicidas y 12 herbicidas.

BELGICA 2020 / (*El Agrebi et al., 2020*)

Se analizaron 89 muestras de panales. Se detectaron 5 acaricidas usados contra la varroosis: Amitraz, Bromopropilato, Clorfenvinfos, Cumafos, y Fluvalinato. También se detectaron 37 fitosanitarios diferentes: 20 insecticidas, 15 fungicidas y 2 herbicidas

SUIZA 2022 / (*Marti et al., 2022*)

Se analizaron 9 muestras de láminas comerciales. Se detectaron 7 acaricidas usados contra la varroosis: Amitraz, Bromopropilato, Clorfenvinfos, Cumafos, Fenpiroximato, Flumetrina y Fluvalinato. También se detectaron 5 fitosanitarios: 4 insecticidas y 1 fungicida. También se detectó DEET, un repelente de insectos.

ESPAÑA 2015, 2022 / (*Calatayud-Vernich y col., 2017; COAG, datos no publicados, 2022*)

Se analizaron 11 muestras de láminas comerciales en 2015 y 13 muestras en 2022. Se detectaron 6 acaricidas usados contra la varroosis: **Acrinatrina, amitraz, clorfenvinfos, cumafos, flumetrina y tau-fluvalinato**. También se detectaron 17 fitosanitarios: 14 insecticidas y 3 fungicidas. Además, se detectó un producto usado para preservar la madera (PCP) y un repelente de insectos (DEET).

En todos los casos se cumple un patrón similar, en la cera se detectan acaricidas usados contra la varroosis y plaguicidas de uso agrario, siendo los primeros más frecuentes y presentando una mayor concentración. Como se podía esperar, el número de contaminantes de uso agrario detectados aumenta con el número de muestras, indicando una mayor diversidad de los apicultores muestreados y de su localización geográfica. En cuanto a las materias activas usadas contra la varroosis, hay tres que se repiten en todos los casos, el amitraz, el cumafos y el fluvalinato, lo que es un fiel reflejo de su amplio uso por parte de los apicultores de todo el mundo. El **bromopropilato** es un acaricida que se usó en los años 80-90 para el control de la varroosis en algunos países europeos y que todavía aparece en la cera; la flumetrina todavía está registrada en Europa, pero

su uso contra varroa no es tan frecuente; en cuanto al clorfenvinfos, se ha usado de forma no autorizada contra varroa en algunos países, por ello se detecta en muestras de España, Suiza y Bélgica, a pesar de que su uso está prohibido en la Unión Europea desde 2009; el **fenpiroximato** estuvo autorizado contra varroa en Estados Unidos.

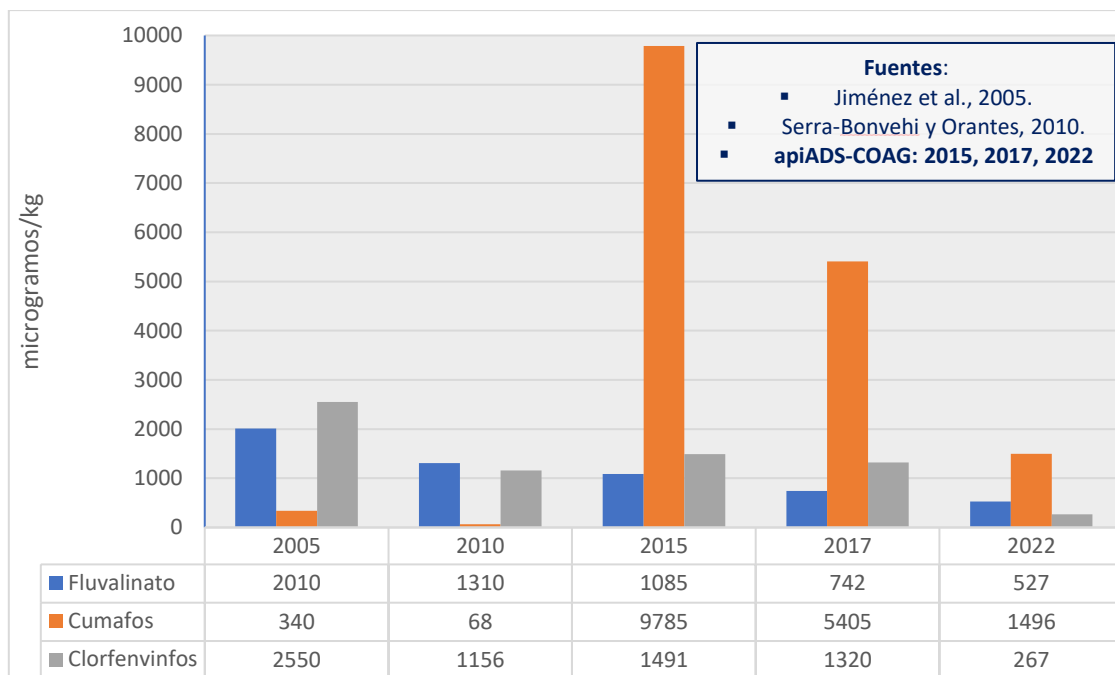
Un contaminante muy común en las muestras de cera es el **butóxido de piperonilo**, utilizado como sinérgico de algunos fitosanitarios. El producto denominado **DEET**, es uno de los ingredientes más habituales de los repelentes de insectos que se detecta en las muestras de cera de España y Suiza. Un derivado del PCP, el **pentacloroanisol**, es un producto utilizado para preservar la madera que se detecta sólo en muestras españolas. Este producto también se ha usado como plaguicida y desinfectante, se degrada lentamente y está catalogado como de alta toxicidad para humanos y el medio ambiente.

El número medio de plaguicidas por muestra oscila entre 4 y 10. La cera es la matriz más permanente en la colmena y está en íntimo contacto con las abejas adultas, con el pan de abeja, con la miel y habitualmente con las larvas, con lo que este cóctel de plaguicidas puede ejercer un efecto tóxico y difundir sus contaminantes con el tiempo. De todas formas, estos productos están embebidos en la cera, sólo una parte están expuestos en la superficie y son susceptibles de provocar estos efectos.

3. EVOLUCION DE LA PRESENCIA DE ACARICIDAS CONTRA LA VARROSI EN ESPAÑA DESDE 2005.

Con los datos de varios trabajos realizados en España desde 2005 y reseñados en el apartado de bibliografía, hemos reconstruido la evolución de la presencia de residuos de los acaricidas usados contra la varroosis en las **Gráficas 1 y 2**. Los resultados expuestos provienen del análisis de muestras de láminas comerciales a excepción de algunas muestras de panales de 2010. El análisis de las muestras de 2015 se realizó en el laboratorio SAMA-UV de la Facultad de Farmacia de la **Universitat de València** y las muestras de 2022 se analizaron en las instalaciones de la empresa alemana **Intertek**.

El **fluvalinato** (tau-fluvalinato) es una de las materias activas más usadas contra varroa a escala mundial. En España comenzó a usarse poco después de la aparición de la varroosis, a partir de 1987. En Estados Unidos, el primer acaricida autorizado después de la aparición de varroa en 1987 fueron tiras de contrachapado impregnadas con una solución de fluvalinato. No tenemos datos analíticos de los años 90, pero teniendo en cuenta la afinidad y la persistencia de este acaricida en la cera, es de esperar que aumentara su concentración a lo largo de la década.



GRAFICA 1. Evolución de la presencia de los residuos de fluvalinato, cumafos y clorfenvinfos en la cera española desde 2005.

A partir de 1995 comenzó a generalizarse la resistencia del ácaro varroa al fluvalinato, al igual que en otros países europeos y, como consecuencia, disminuyó la frecuencia de su uso. No obstante, y a pesar de la recomendación de prescindir de este acaricida durante algunos años para favorecer la reversión de las resistencias, los apicultores siguieron usándolo, de forma no autorizada o mediante el producto registrado Apistan®. Como vemos en la **Gráfica 1**, en 2005 la concentración media del fluvalinato en la cera era de unos 2000 µg/kg y, presumiblemente, habría llegado a ser superior en años previos. Posteriormente, la concentración va decayendo hasta un valor de 527 ng/g en 2022. Su uso de forma no autorizada y la persistencia de los residuos en la cera han mantenido la presión de selección sobre los ácaros varroa y, por ello, la

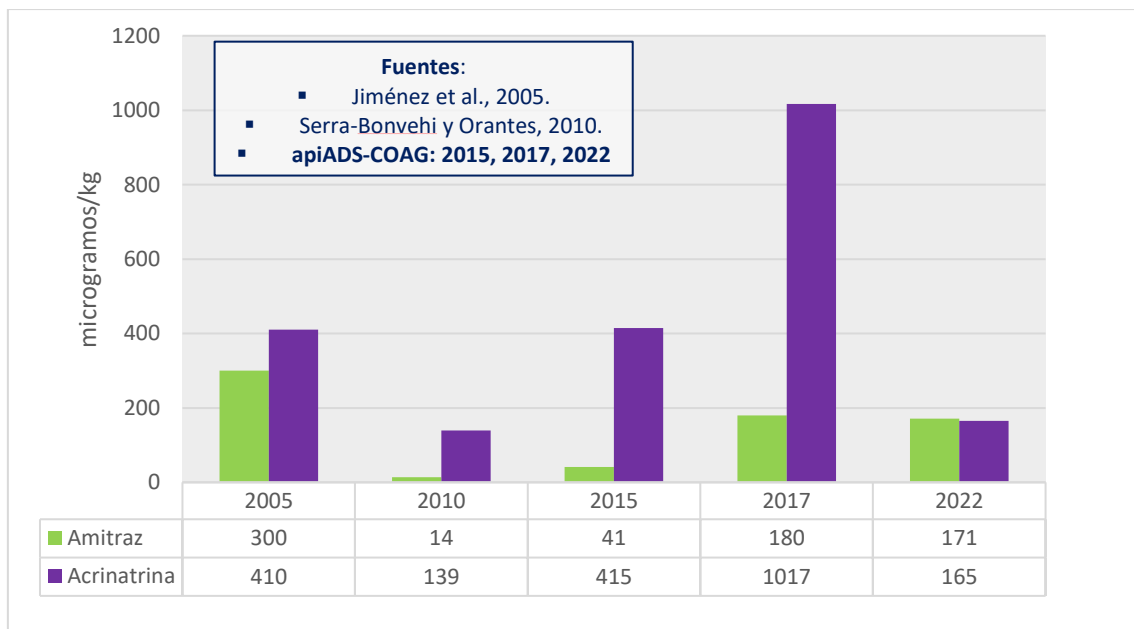
eficacia de este acaricida no ha recuperado los niveles anteriores a 1995. Algunos países europeos recomiendan no superar el umbral de 1000 µg/kg (1 mg/kg) en la cera para prevenir la contaminación de los productos apícolas.

El **cumafos**, que también aparece en la Gráfica 1, es un acaricida organofosforado contra varroa que comienza a usarse en España a partir de 2008, con la comercialización del producto Checkmite[®], por tanto, los niveles que aparecen en 2005 deben tener su origen en tratamientos previos no autorizados con esta materia activa. No obstante, en 2010 la frecuencia de muestras positivas en España todavía estaba por debajo del 4% y la concentración media fue sólo de 68 µg/kg. Sin embargo, en 2015, la frecuencia ya era del 100% y la concentración media fue de 9485 µg/kg, a consecuencia de su uso muy generalizado y su elevada afinidad por la cera. Este valor, que equivale a 9,5 partes por millón, supera con creces el límite máximo de 1 parte por millón que se han marcado en algunos países para prevenir la contaminación de la miel y otros productos apícolas. Concentraciones de cumafos comparables se han dado también en otros países donde se ha comercializado el Checkmite[®]. A partir de 2014 se generalizan los problemas de pérdida de eficacia de este producto contra varroa, un indicador muy fiable de la aparición de fenómenos de resistencia de varroa al cumafos. Como ha ocurrido con otras materias activas que muestran una elevada persistencia en la cera, unos 5-6 años después de un uso intensivo suelen manifestarse los problemas de resistencia. El efecto inmediato fue una disminución drástica de su uso y esto tuvo su reflejo en la presencia de residuos en la cera, que en 2017 se redujo casi a la mitad y en 2022 a una sexta parte de la concentración media detectada en 2015. Esta disminución rebasó las predicciones en este sentido, que hablan de una reducción de la concentración media de residuos de un 50% a los 5 años de suspender el uso del acaricida.

El **clorfenvinfos** es **un acaricida no autorizado para la varroosis** que, sin embargo, se ha usado con relativa frecuencia desde mediados de los años 90, con la aparición de resistencias de varroa al fluvalinato. Desde 2005, la concentración media de esta materia activa en la cera sigue un patrón similar al del fluvalinato. Previsiblemente, su concentración previa fue

mayor que los 2500 µg/kg detectados en 2005. Posteriormente se mantiene ligeramente por encima de los 1000 ng/g hasta bajar a los 267 µg/kg en 2022, aunque la frecuencia de detección sigue siendo cercana al 100%. La presencia de este acaricida en la cera laminada es un peligro que acecha desde hace años a los productos apícolas, porque además de ser un organofosforado, siempre se ha usado de forma no autorizada en apicultura y actualmente es una materia activa prohibida en la Unión Europea (Tabla 2). A pesar de esto, también se ha detectado en la cera de Italia, Suiza y Bélgica.

En la **Gráfica 2** se muestra la evolución de las otras dos materias activas más frecuentes en la cera española, el amitraz y la acrinatrina.



GRAFICA 2. Evolución de la presencia de los residuos de amitraz y acrinatrina en la cera española desde 2005.

El **amitraz** es una materia muy inestable y suele detectarse en la cera como la suma de sus productos de degradación (DMF, DMPF y DMA). Se ha utilizado por sus efectos acaricidas desde la aparición de la varroosis en España, al igual que el fluvalinato. Desde entonces, el amitraz se ha utilizado mediante productos autorizados (Apivar®, Apitraz® y Amicel®) o a través de tratamientos no autorizados. Pero a diferencia del resto, el amitraz desaparece en la cera en 24 horas y su producto de degradación principal, el DMF, puede ser lavado con mayor facilidad durante el procesado y laminado de la cera por ser más hidrófilo. Como vemos en la

Gráfica 2, la concentración del amitraz en la cera no ha superado los 200 μ /kg en los últimos 10 años, con mínimos en 2010 y 2015 de 14 y 41 μ /kg respectivamente. A pesar su evolución en la cera, el amitraz ha pasado a ser desde 2015 el acaricida de uso más frecuente en nuestro país, como prueban las múltiples y recientes alertas de residuos en miel por rebasar el LMR establecido en la Unión Europea de 200 μ /kg (Tabla 2).

La **acrinatrina** es un piretroide de acción acaricida que **no está autorizado en apicultura**. De uso relativamente reciente, su frecuencia en 2010 era sólo del 7%, mientras que en 2015 había subido hasta el 82%, como respuesta a la generalización de las resistencias al cumafos en 2013-14. Las concentraciones registradas también se han incrementado hasta llegar a un máximo de 1017 μ /kg en 2017. En los últimos años se ha reducido significativamente su presencia en la cera hasta el valor de 165 μ /kg en 2022. El mayor peligro de esta molécula en la cera viene dado por su elevada toxicidad para las abejas, como veremos más adelante.

4. RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN LÁMINAS DE CERA COMERCIALIZADAS EN ESPAÑA EN 2022.

En la **Tabla 1** se presentan los resultados de las analíticas de plaguicidas en 13 muestras de láminas de cera estampada comercializadas en España en el año 2022 (FOTO 2). La recogida y la financiación de las analíticas fue asumida por la **Coordinadora de Organizaciones Agrarias y Ganaderas COAG**. La metodología analítica se basó en la espectrometría de masas (MS/MS) combinada con cromatografía líquida o de gases.

La elección como muestras representativas de las láminas de cera comercial se debe a dos razones básicas. Por un lado, las láminas de uso apícola se suelen fabricar con la cera aportada por multitud de apicultores, principalmente a partir de la cera obtenida del reciclado de panales viejos, ofreciendo una visión amplia del estado de la cera en una región concreta. Por otro, las láminas estampadas representan la mayor fuente de cera apícola utilizada por los apicultores a nivel mundial. Del análisis de los resultados de un estudio reciente realizado en España sobre analíticas comparadas de cera reciclada, láminas comerciales y sello, podemos extraer algunas conclusiones. Los niveles de contaminantes

LAMINAS DE CERA ESTAMPADA 2022 / n = 13

PLAGUICIDA	<u>Frecuencia</u>	<u>Concentración máxima</u>	<u>Concentración mínima</u>	<u>Concentración media</u>
	(casos +)	(ng/g cera)	(ng/g cera)	(ng/g cera)
Cumafos	12	3560	412	1496,5
Clorfenvinfos	12	717	52	267,2
Fluvalinato	12	1523	62	526,5
Acrinatrina	9	447	87	165,2
Flumetrina	0	0	0	0
Amitraz	13	286	44	170,6
Alfa HCH	1	17	17	1,3
Azoxistrobin	1	56	56	4,3
Butóxido de piperonilo	10	496	19	107,4
Clorpirifos	5	119	11	19,8
Cipermetrina	8	131	19	27,3
Deltametrina	1	145	145	11,2
Difenoconazol	1	22	22	1,7
DEET	8	86	10	19,3
Paration	2	158	24	14,0
Pentacloroanisol (PCP)	6	46	10	10,2
Permetrina	9	293	12	43,4
Propargita	1	16	16	1,2
Propiconazol	9	36	12	13,5
Teflutrina	2	113	36	11,5
Tetrametrina	2	64	61	9,6
Carga total de plaguicidas (ng/g cera): 2921				

TABLA 1. Frecuencia y concentración de los plaguicidas detectados en 13 muestras de láminas estampadas comercializadas en 2022.

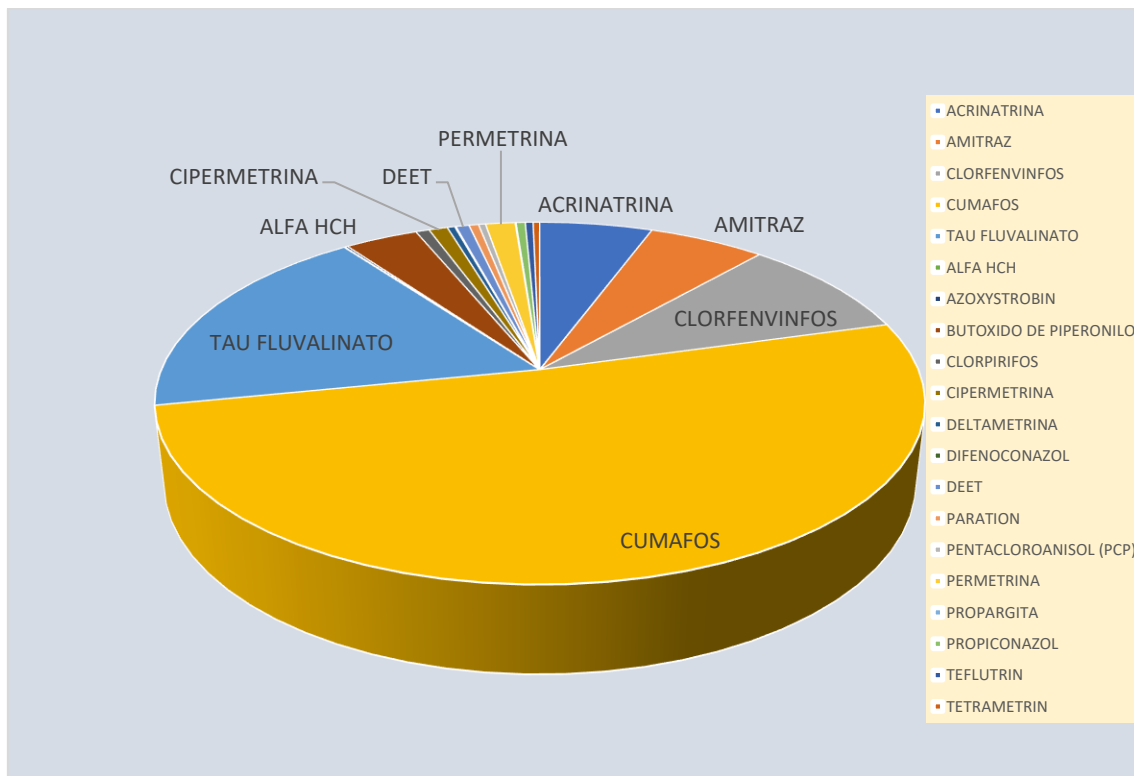
presentes en la cera de los panales reciclados y en las láminas suele ser muy similar. Por el contrario, la cera de sello suele tener, como veremos más adelante, una carga de residuos de 3 a 5 veces menor. Por ello, se deduce que la fuente básica de cera para la fabricación de láminas de uso apícola es la cera obtenida del reciclado de panales viejos. De las 13 muestras que se incluyen en la Tabla 1 se ha calculado el valor medio para la concentración de cada plaguicida (se considera un valor 0 cuando no se detecta) y se incluyen los valores máximo y mínimo. El valor medio del número de plaguicidas detectados por muestra se aproxima a 9, siendo el valor mínimo de 4 y el máximo de 13. De los acaricidas de síntesis usados contra varroa, se han detectado el cumafos, clorfenvinfos, fluvalinato, acrinatrina y amitraz. En 9 muestras se detectan simultáneamente estos 5 acaricidas; en 3 muestras se detectan 4 de los 5 acaricidas y sólo el amitraz en una única muestra.

El **cumafos** sigue siendo el acaricida que presenta una mayor concentración, a pesar de que su comercialización en España está suspendida desde 2019 y su presencia en la cera ha caído drásticamente en los últimos años. Una buena noticia es que la concentración media del resto de acaricidas contra varroa está por debajo de 1 mg/kg. La incorporación creciente de tratamientos con acaricidas no de síntesis, como el ácido oxálico, puede influir directamente en esta disminución de la presencia en la cera de los acaricidas de síntesis antes mencionados. Por el contrario, la frecuencia de detección de estos acaricidas es todavía muy alta, en general por encima del 90% y representan casi el 90% de la carga total de plaguicidas en la cera comercial (Gráfica 3). Como contraste de estos resultados en las láminas de cera de uso apícola, se ha analizado una muestra de cera virgen de un enjambre natural en la que no se ha detectado ninguno de estos productos usados para el control de la varroosis.

El resto de los contaminantes detectados en las láminas estampadas de 2022 se corresponden con plaguicidas usados en tratamientos agrarios que son introducidos en la colmena por las abejas pecoreadoras, que con el tiempo pasan a la cera. En general, presentan una frecuencia menor que los acaricidas de uso apícola, pero algunos de ellos tienen una elevada

toxicidad para abejas. Por ello, vamos a comentar los resultados en orden decreciente de toxicidad, por su posible impacto sobre el vigor de las colmenas.

De todos los fitosanitarios detectados, cabe destacar los piretroides por su elevada toxicidad para las abejas (Tabla 3). La **deltametrina** es el piretroide más tóxico y, a pesar de haberse detectado sólo en una muestra, su concentración y toxicidad serían suficientes para rechazar esta muestra de láminas de cera por sus potenciales efectos negativos en las abejas. Los piretroides cipermetrina y permetrina tienen una frecuencia alta, detectados en 8 y 9 muestras respectivamente, además de tener una toxicidad muy alta para abejas, como podemos apreciar en los valores de la Dosis Letal 50 que se detallan en la Tabla 3. Los otros dos piretroides de uso agrario detectados, la **teflutrina** y la **tetrametrina**, presentan una toxicidad también alta, aunque algo menor que los anteriores, pero su frecuencia es mucho más baja. En conjunto, los piretroides detectados en estas muestras suponen un elevado riesgo para las colonias que puedan recibir estas láminas de cera.



GRAFICA 3. Contribución de cada uno de los plaguicidas detectados a la carga total de contaminantes.

El **clorpirifos**, un organofosforado de uso agrario se detectó en 5 de las 13 muestras. Este insecticida es un contaminante habitual de la cera y el polen, como lo revelan multitud de estudios. Debido a su amplio uso en una gran variedad de cultivos y a su elevada toxicidad, es uno de los principales agroquímicos detectados en las abejas muertas por intoxicación aguda en colmenas situadas cerca de cultivos. A pesar de que el uso de esta materia activa **ya no está autorizado** en la Unión Europea desde enero de 2020, todavía está presente en la cera de abejas.

Se han detectado **tres agroquímicos no autorizados** en la UE, catalogados como muy peligrosos para el medio ambiente y por su toxicidad para humanos, el **HCH** en una muestra (hexaclorociclohexano), la **propargita** en una muestra y el **paratión** en dos muestras. Aunque no podemos saber cómo han llegado estos plaguicidas a la cera, su detección es un suceso muy preocupante que convendría desentrañar.

El **pentacloroanisol** es un metabolito del pentaclorofenol (PCP), detectado en 6 muestras. Se usa como preservativo de la madera y, presuntamente, aparece en la cera por el contacto con la madera tratada de las colmenas. También se ha usado como plaguicida en general, como desinfectante y como ingrediente de pinturas. Como se ha comentado anteriormente, se ha detectado en la cera en otros países y su mayor peligro es su elevada toxicidad para mamíferos y por su lenta degradación en el medio ambiente.

Uno de los ingredientes más comunes en los repelentes de insectos, el **DEET**, se detecta en 8 muestras. Hay una gran cantidad de productos de uso doméstico que usan esta sustancia, por lo que su aparición en la cera puede deberse a la aplicación de este producto en forma de aerosol en las instalaciones apícolas o en las empresas que procesan la cera y fabrican las láminas estampadas. Así puede haber ocurrido en las detecciones de este contaminante en la cera de otros países, como ya se ha comentado. Si esto fuera cierto, se debería ser más cauteloso con el uso de estos productos en instalaciones relacionadas con el procesado de la cera de uso apícola.

El fitosanitario más frecuente es el **butóxido de piperonilo**, que se detecta en 10 muestras. Es un potente sinérgico de plaguicidas, pero con una toxicidad para abejas relativamente baja. Este producto es muy usado en agricultura y aparece también en otros estudios analíticos de la cera de abejas.

Por último, se han detectado 3 fitosanitarios del grupo de los fungicidas. El **propiconazol** es el más ubicuo, detectado en 9 muestras; el **difenoconazol** y el **azoxistrobin** sólo se detectan en una muestra. A pesar de que su toxicidad para abejas es baja, un efecto colateral podría ser la alteración de la microflora natural del polen almacenado en los panales, necesaria para su óptima transformación en pan de abeja, nutriente esencial de las abejas.

5. POSIBLES EFECTOS DE LOS PLAGUICIDAS DETECTADOS EN LA CERA DE USO APÍCOLA.

Los efectos de los plaguicidas presentes en la cera pueden repercutir sobre las abejas y las colonias en varios aspectos. En primer lugar, está la toxicidad de estos contaminantes para las larvas y abejas; también pueden incrementar la gravedad de diversas patologías como varroosis, virosis y noseosis; otro aspecto a considerar es la influencia de los restos de acaricidas presentes en la cera en el desarrollo y mantenimiento de las resistencias de los ácaros varroa; por último, estos residuos afectan negativamente a la imagen de los productos apícolas.

La matriz con mayor concentración de acaricidas usados contra varroa suele ser la cera, seguida del polen/pan de abeja y, por último, la miel. Al contrario, el pan de abeja suele tener mayor presencia y diversidad de fitosanitarios. En los panales de cera, los plaguicidas se acumulan durante años y además persisten incluso después del procesado y su conversión en láminas de cera estampadas, debido a las bajas tasas de degradación de muchos de estas sustancias. De este modo, los panales de cera se convierten en un sumidero de contaminantes que, eventualmente,

pueden ser transferidos al propóleos, al polen almacenado o incluso a la miel.

El riesgo de la presencia de un tóxico para las larvas y abejas depende del grado de exposición y de la toxicidad intrínseca de cada plaguicida (DL50 en microgramos por abeja). En el caso de la cera, no toda la carga de contaminantes está expuesta en la superficie, por tanto, sólo una parte puede entrar en contacto con las larvas durante su desarrollo o con las abejas adultas durante su vida. Además, como las larvas tejen un capullo de seda en cada ciclo de cría que queda adherido en sucesivas capas a las paredes internas de la celda del panal, esta película actúa como aislante de los contaminantes y protege en cierta medida a las larvas de los posibles efectos tóxicos.

Los niveles de plaguicidas encontrados en la cera pueden ser responsables de efectos tóxicos crónicos, de carácter subletal y sólo excepcionalmente pueden inducir una toxicidad aguda que implique una mortalidad elevada de larvas y abejas adultas. Pero la colonia se enfrenta realmente a cócteles de plaguicidas con diversa toxicidad y con sinergias entre ellos que pueden realizar sus efectos tóxicos.

Efectos tóxicos sobre las larvas y abejas adultas.

Habitualmente, las larvas y abejas adultas están expuestas a concentraciones de residuos de plaguicidas en la cera que pueden inducir efectos subletales. La exposición a dosis subletales de plaguicidas, que no son consideradas en los estudios para evaluar la dosis letal 50 (DL50, dosis que mata al 50% de los individuos en 48 horas en ensayos de laboratorio), pueden disminuir la fertilidad, la reproducción, el desarrollo larvario, la longevidad de las abejas y la capacidad inmunitaria; pueden agravar los efectos de patologías como la varroosis, virosis y nosemosis; pueden alterar el comportamiento de las abejas, afectar a diversas funciones fisiológicas y, en definitiva, influir negativamente en el vigor de las colonias.

A menudo se han relacionado los casos descritos como síndrome de despoblamiento o colapso repentino de las colmenas con la exposición de las abejas a los plaguicidas, pero la dificultad radica en que la exposición

de las abejas suele ser a dosis subletales de estos contaminantes y los efectos inducidos son variables, dependiendo de la presencia de otros agentes estresantes a los que están sometidas las colonias de abejas, como algunas patologías (varroosis, virosis y nosemosis) o déficits nutricionales. Por ello, se han catalogado estos síndromes como multifactoriales. Cada vez hay más evidencias de que los déficits nutricionales, más frecuentes por los efectos del cambio climático y el uso intensivo de herbicidas, están detrás del aumento de mortalidad de las colonias de abejas. La abeja melífera es una especie poliléctica, es decir, se alimenta del polen y néctar de una gran variedad de plantas y esta diversidad nutricional le confiere un mayor vigor y, por tanto, resistencia a diversas patologías.

Si nos atenemos a la concentración de plaguicidas en la cera de la TABLA 1 y teniendo en cuenta la toxicidad intrínseca de cada uno, según los valores de la DL50 expuestos en la Tabla 3), podemos concluir que la fuente de toxicidad más alta es aportada por los piretroides detectados en algunas muestras, seguidos por los organofosforados. Sin embargo, estudios experimentales sugieren que algunos fungicidas como el propiconazol, pueden inhibir los sistemas de detoxificación de las abejas y acentuar de forma sinérgica la toxicidad de ciertos insecticidas y acaricidas (fluvalinato, cumafos y fenpiroximato). Hay que tener en cuenta que las abejas, comparadas con otros insectos, poseen menos enzimas destinados a detoxificar estos xenobióticos, seguramente porque la evolución de su modo de vida y su alimentación no los hacían necesarios: Millones de años viviendo en colonias aisladas del exterior y alimentándose de productos vegetales prístinos como el néctar y polen de las flores.

En resumen, teniendo en cuenta los datos de la TABLA 1, nuestras abejas se enfrentan a una media de 9 plaguicidas en la cera, un verdadero cóctel cuya toxicidad suma o multiplica si hay efectos sinérgicos. De ellos, los acaricidas contra varroa son casi omnipresentes y sus concentraciones suelen ser mayores que las del resto de contaminantes. A pesar de esto, su toxicidad es menor que otros insecticidas detectados como los piretroides, entre los que la deltametrina sobresale como el más tóxico detectado en una sola muestra.

Residuos de acaricidas y resistencia de varroa.

Hasta el momento se han descrito resistencias del ácaro varroa al fluvalinato, amitraz y cumafos. En el caso del fluvalinato y el cumafos, los primeros casos de pérdida de eficacia aparecieron a los 5-6 años de usarlos de forma periódica contra la varroosis. Como hemos visto, estos dos acaricidas muestran una gran afinidad por la cera y han llegado a alcanzar concentraciones mayores de 1mg/kg durante años. Aunque hay una carencia de estudios determinantes, existe un consenso de técnicos y científicos en la hipótesis de que estos niveles inducen una exposición constante de los ácaros varroa a estos acaricidas, sometiéndolos a una presión selectiva que mantiene las resistencias de varroa. En el caso del fluvalinato, ya en 1994-95 se detectó una caída significativa de la eficacia en España y durante los años 90 también en Francia, Italia, Estados Unidos o Israel. Tenemos la constancia de que el fluvalinato se ha usado de forma periódica desde la aparición de la varroosis en España en 1985, hecho que hemos podido comprobar en campo y como así lo prueba la aparición constante de residuos en la cera (GRAFICA 1). La consecuencia ha sido que todavía no se ha podido revertir la eficacia del fluvalinato y las resistencias siguen muy presentes en las poblaciones de varroa en forma de mutaciones genéticas en el sitio de unión (proteína de la membrana de las células nerviosas conocida como canal de sodio regulado por el voltaje) ya descritas en la bibliografía.

Otro fenómeno similar ha ocurrido con el acaricida cumafos, aunque el fundamento de las resistencias detectadas en varroa parece residir más en los mecanismos de detoxificación.

El caso del amitraz es diferente, porque a pesar de ser una materia activa muy usada contra varroa, prácticamente desde finales de los 80, ha mantenido un nivel de eficacia aceptable, aun no siendo óptimo en algunos casos. El amitraz es una molécula muy inestable y sus productos de degradación no alcanzan niveles tan altos en la cera, por lo que el contacto de este acaricida con las hembras de varroa no es tan persistente

como en los casos del fluvalinato y cumafos. Sólo recientemente, después de un uso muy intensivo en los últimos 10 años, por la ausencia de acaricidas de síntesis viables, se han detectado casos más patentes de falta de eficacia. En 2021 ya se han descrito mutaciones genéticas que le confieren al ácaro varroa resistencia al amitraz.

Transferencia de los residuos de plaguicidas a los productos apícolas.

En casos de campo constatados, en una semana ya se detectan acaricidas usados contra varroa en los panales recién construidos con cera virgen. Esto implica una transferencia relativamente rápida de estos contaminantes desde los panales viejos. También se ha constatado el paso de agroquímicos desde el polen a la cera. Dado que el propóleo puede contener un elevado porcentaje de cera (hasta el 50%), es de esperar que presente también problemas de contaminación con estas sustancias, aunque todavía es un producto poco estudiado. Un problema añadido es la persistencia de estas moléculas orgánicas en la cera y que no se eliminan con el procesado; algunas de ellas pueden detectarse 30 años después de haber suspendido su uso, como ha ocurrido con el bromopropilato en Suiza, que dejó de usarse contra la varroosis hacia 1991 y en 2022 todavía quedan restos detectables.

En cuanto a la miel, la posibilidad de transferencia de estos residuos existe, a pesar de que es un medio acuoso y tiene una afinidad mucho menor por estas moléculas lipófilas. De la legislación europea que marca los límites máximos de residuos en los alimentos hemos extraído en la **TABLA 2** algunos valores que corresponden a materias activas ya detectadas en analíticas de mieles. Estos límites marcan la viabilidad comercial de la miel para consumo humano. En España, durante los últimos años se han detectado partidas de miel con restos de amitraz por encima del LMR, 0,2 mg/kg, debido al uso intensivo de este acaricida. El LMR del fluvalinato se ha bajado a 0,05 desde hace unos años, pero no tenemos constancia de casos recientes en los que se haya superado este valor. En el caso de plaguicidas organofosforados muy tóxicos para humanos y cuyo uso está prohibido en la Unión Europea, como el clorfenvinfos y el clorpirifos, se han establecido unos LMR de referencia de 0,01 y 0,05, pero se remarca que se ajusten a niveles más bajos si lo

permiten los límites de cuantificación de la metodología analítica. En general, para los plaguicidas de uso agrario que pueden llegar a la miel a través del néctar, polen o por otras vías, como puede ocurrir con el glifosato, se establecen LMR de 0,05 mg/kg. Según un estudio realizado en 2014 con muestras de miel de varios países, 23 de las 69 muestras analizadas están por encima del LMR de la Unión Europea para el glifosato; 41 muestras (59% del total) están por encima del umbral de cuantificación (LOQ = 0,015 mg/kg). Mientras que el glifosato sigue siendo el herbicida más usado a nivel mundial, en la UE estaba prevista su prohibición a partir de diciembre de 2022 pero se ha pospuesto hasta diciembre de 2023. Se han constatado sus efectos sobre humanos y sobre el medio ambiente. Además, un uso intensivo de herbicidas limita la diversidad botánica en zonas agrarias y reduce drásticamente la disponibilidad de alimento de muchos insectos, especialmente de los polinizadores, comprometiendo a su vez la adecuada polinización de los cultivos.

PLAGUICIDA	LMR EN LA MIEL (mg/kg)
Acrinatrina	0,05
Amitraz	0,2
Clorfenvinfos	0,01*
Clorpirifos	0,05*
Cumafos	0,1
Fluvalinato	0,05
Glifosato	0,05

TABLA 2. Límite máximo de residuos (LMR) de algunos plaguicidas en la miel, según la legislación europea. (El asterisco significa que en estas materias activas puede adoptarse un valor más bajo si lo permiten los límites de cuantificación).

6. ANALISIS DEL RIESGO DE TOXICIDAD DE LOS PLAGUICIDAS EN LA CERA.

Para analizar el riesgo que representan los contaminantes presentes en la cera vamos a introducir un parámetro que recientemente, a falta de un modelo más refinado, se está usando en la bibliografía científica para evaluar y comparar el potencial tóxico de los contaminantes en las muestras de las diferentes matrices de la colmena. Este parámetro es el cociente de riesgo, en la cera HQ_{cera} , que es el resultado de dividir la concentración de cada plaguicida encontrado en la muestra (en microgramos por kg), por el valor de su dosis letal 50 (DL50 expresada en microgramos por abeja). En la **TABLA 3** se incluyen los valores de DL50 de los plaguicidas con mayor toxicidad.

PLAGUICIDA	DL 50 (Vía tópica- μg/kg)	PLAGUICIDA	DL 50 (Vía tópica- μg/kg)
Deltametrina	0,0015	Teflutrina	0,28
Cipermetrina	0,023	Fenitrotión	0,52
Permetrina	0,024	Clorfenvinfos	2,3
Clorpirifos	0,059	Cumafos	3
Acrinatrina	0,08	Fluvalinato	12
Tetrametrina	0,16	Acetamiprid	14
Dimetoato	0,17	Carbendazima	50
Flumetrina	0,2	Amitraz	50

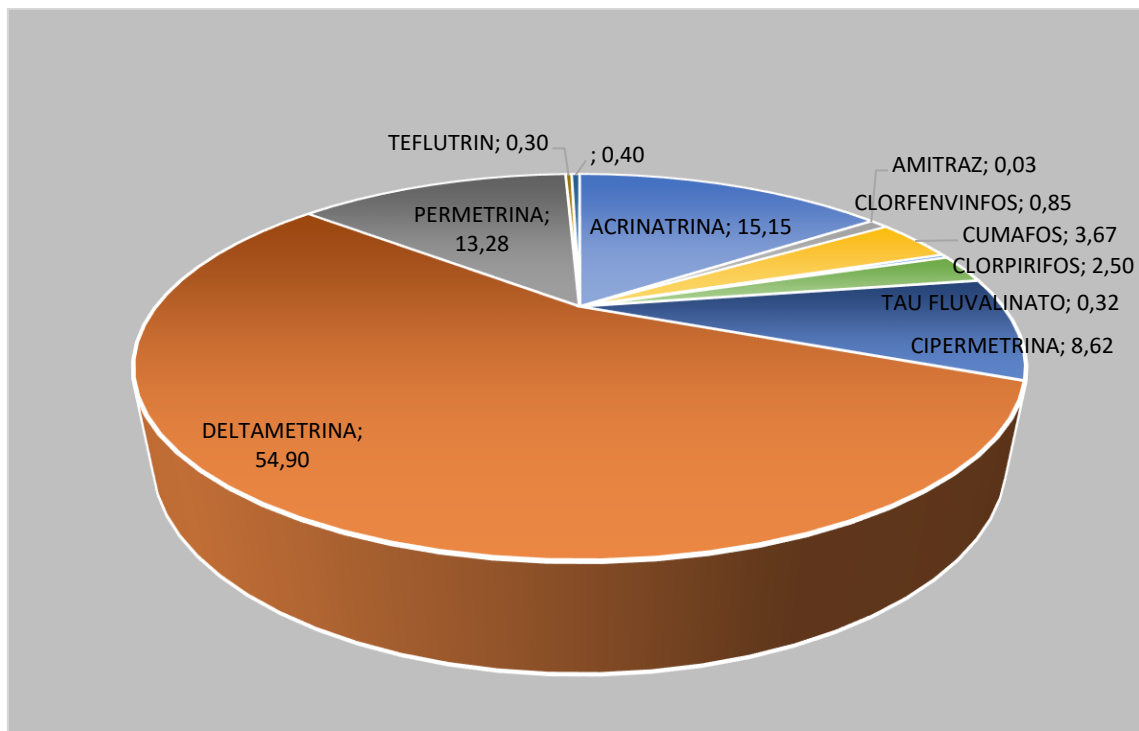
TABLA 3. Dosis Letal 50 para abejas de los plaguicidas de mayor toxicidad ($DL50 \leq 50$) presentes en la cera. ($DL50 < 2 \mu\text{g}/\text{abeja}$ = Toxicidad alta; $2-11 \mu\text{g}/\text{abeja}$ = Toxicidad moderada; $11-100 \mu\text{g}/\text{abeja}$ = Toxicidad baja; $DL50 > 100 \mu\text{g}/\text{abeja}$ = Sin toxicidad aguda). En el caso del amitraz se incluyen sus productos de degradación DMF y DMPF.

No se han incluido algunos plaguicidas en la **TABLA 3**, bien porque no se han encontrado valores fiables de la DL50 o bien porque su valor estaba por encima de los 50 microgramos/abeja, una toxicidad baja para abejas, como ocurre con los fungicidas, con una contribución ínfima al cociente de riesgo. A excepción de la acrinatrina, que sabemos que se ha usado contra

varroa de forma no autorizada, los insecticidas de uso agrario tienen una toxicidad para abejas mucho mayor que los acaricidas contra la varroosis: La DL50 de la deltametrina es 33000 veces mayor que la del amitraz.

Para analizar la contribución de cada uno de los contaminantes hemos calculado el valor del HQ_{cera} para la media de las concentraciones de plaguicidas detectados en las 13 muestras de láminas comerciales de cera de 2022.

Según la bibliografía, en la cera se asume como significativo para el riesgo de toxicidad un valor de HQ_{cera} superior a 5000. Solo el valor que corresponde a la deltametrina ya excede este umbral (se sitúa en 7500) y al sumar la contribución de todos los plaguicidas detectados el valor es de 13600, que puede considerarse como muy significativo y pone de relieve el potencial tóxico que hay en el seno de la cera reciclada que los apicultores usan en sus colmenas en forma de láminas estampadas. En la **GRAFICA 3**, se ha representado en forma de sector coloreado, la fracción del valor del HQ_{cera} que corresponde a cada plaguicida detectado.



GRAFICA 3. Contribución al cociente de riesgo HQ_{CERA} de los plaguicidas detectados en las láminas de cera.

Como vemos, la deltametrina contribuye en más de un 50% al valor total del HQ_{cera} , a pesar de haberse detectado sólo en una muestra. La suma de todos los piretroides aporta más del 90% del valor. Los acaricidas usados contra varroa, incluyendo la acrinatrina, aportan un 20%, mientras que los insecticidas de uso agrario detectados en la cera aportan un 80% de la toxicidad potencial. Estos valores contrastan con los obtenidos en un muestreo de láminas de cera comparable de 2015, en el que el valor del HQ_{cera} aportado por los acaricidas contra varroa fue del 85%. Este hecho se explica por la irrupción de los piretroides agrarios encontrados en la cera de 2022 y por la bajada muy significativa de la concentración de la acrinatrina y el cumafos. Cabe destacar que el amitraz tiene una contribución ínfima al cociente de riesgo, por su baja concentración, pero sobre todo por el valor elevado de su DL50.

A expensas de que se proponga un modelo de análisis de riesgo que contemple las sinergias entre plaguicidas o la exposición real de las abejas adultas y las larvas a cada contaminante presente en el seno de la cera, el modelo propuesto del HQ_{cera} nos ofrece una posibilidad simple y accesible de estimar y comparar el riesgo de toxicidad en las diversas matrices de la colmena con cierta fiabilidad, así como comparar estudios realizados en diversos países.

7. RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN EL POLEN ALMACENADO O PAN DE ABEJA FRESCO.

Los datos expuestos en la **TABLA 4** son el resultado de un muestreo realizado entre 45 apicultores de varias regiones de España entre 2016-2018. Se recogieron muestras de polen recién almacenado en los panales (pan de abeja fresco) y se analizaron los residuos de plaguicidas (FOTO 1).

En este estudio se detectan 5 acaricidas usados contra varroa y 8 fitosanitarios (6 insecticidas, 1 acaricida y 1 fungicida). En general, las concentraciones detectadas de los acaricidas son mucho menores que en el caso de las láminas de cera y como se ha comentado previamente, estos contaminantes son transferidos desde la cera al polen por la actividad de las abejas. En el caso de la **acrinatrina**, asumimos que se suman los efectos de su uso en la agricultura y su uso no autorizado contra varroa.

Que la acrinatrina se haya usado contra la varroosis es un hecho totalmente desafortunado por ser este acaricida mucho más tóxico que el resto para las abejas (TABLA 3).

Las concentraciones de los fitosanitarios son también bajas, aunque hay casos de valores máximos que le confieren al polen una elevada toxicidad potencial. El **clorpirifos**, detectado en 14 de las 45 muestras, suele ser el agroquímico más frecuente en el polen y también en la cera, lo que da una idea del uso intensivo de este insecticida en las zonas agrarias. Como ya hemos comentado, su autorización en la Unión europea expiró en 2020. Otro organofosforado de uso agrario, el **dimetoato**, se detectó en 4 muestras; en la época del estudio tenía ya un uso muy restringido y poco después, en 2019, expiró su autorización. El insecticida **diclofentiión**, no está autorizado desde 2002; la autorización del insecticida **fenitrotión** expiró en 2007 y la del fungicida **carbendazima** en 2009. No deja de ser motivo de alarma que se detecten 3 materias activas no autorizadas desde años antes del muestreo. También se detectó el insecticida neonicotinoide **acetamiprid** y el insecticida regulador del crecimiento **piriproxifen**, los dos de uso frecuente en agricultura.

8. ANALISIS DEL RIESGO DE TOXICIDAD DE LOS PLAGUICIDAS EN EL POLEN.

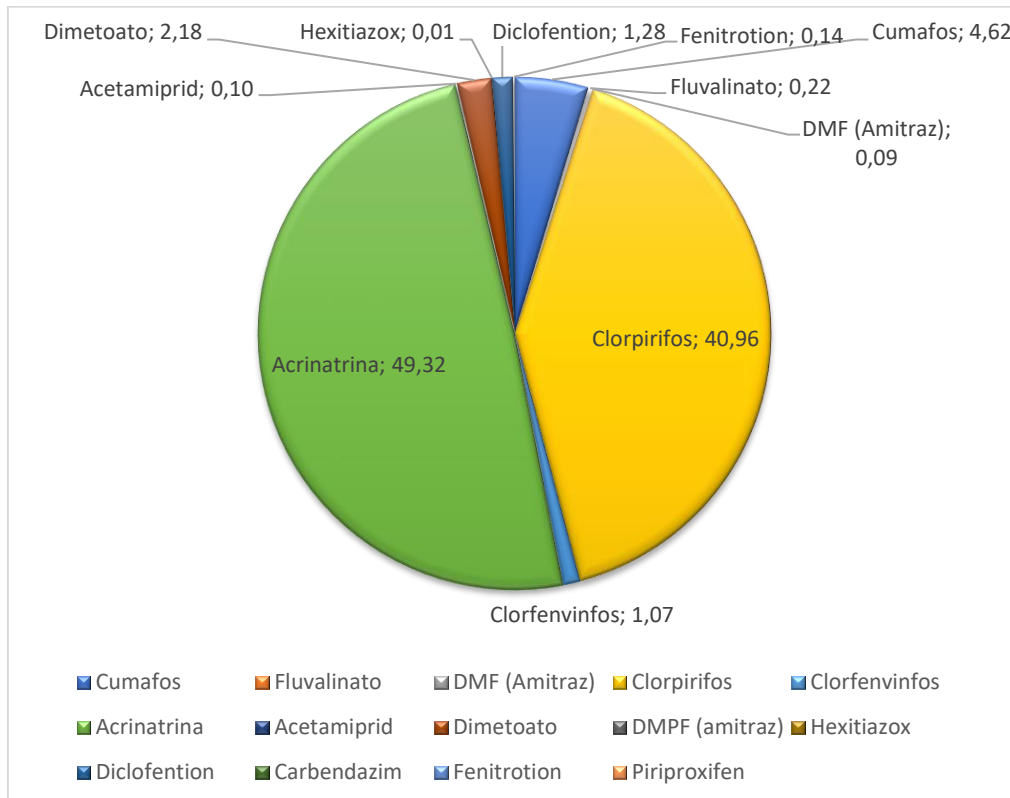
Al igual que hemos hecho en el caso de la cera, también se puede aplicar el modelo del cociente de riesgo al polen almacenado, HQ_{polen} . En la bibliografía consultada se asigna un valor umbral de 50 en el caso del polen porque en este caso las abejas nodrizas están ingiriendo polen durante unos 9 días y pueden sufrir los efectos de todos los tóxicos que contiene, a diferencia del caso de la cera. Al analizar el valor aportado por cada plaguicida, teniendo en cuenta las DL50 de cada uno (TABLA 3), destacan la **acrinatrina y el clorpirifos**, con aportaciones de 200 y 166 respectivamente al valor del HQ_{polen} . Hemos comentado que la acrinatrina se ha usado irregularmente contra varroa, en cambio el clorpirifos es de uso agrario y llega al polen a consecuencia de los tratamientos realizados durante la floración de los cultivos o por contaminación de la flora auxiliar.

PLAGUICIDA	MUESTRAS POSITIVAS (n = 45)	RANGO	CONCENTRACION MEDIA (ng/g)
Cumafos	40	4-374	56,2
Fluvalinato	21	2-72	10,9
DMF (amitraz)	17	4-246	17,6
DMPF (amitraz)	4	8-22	1,2
Clorpirifos	14	1-100	9,8
Clorfenvinfos	12	2-194	10
Acrinatrina	9	1-458	16,8
Acetamiprid	5	7-104	5,4
Dimetoato	4	14-22	1,5
Hexitiazox	3	14-190	5,1
Diclofentión	2	18-42	1,3
Carbendazima	2	22-29	1,1
Fenitrotión	1	14	0,3
Piriproxifen	1	6	0,1

TABLA 4. Frecuencia y concentración de los plaguicidas detectados en 45 muestras de polen fresco almacenado en los panales recogidas en diversas regiones de España entre 2016-2018.

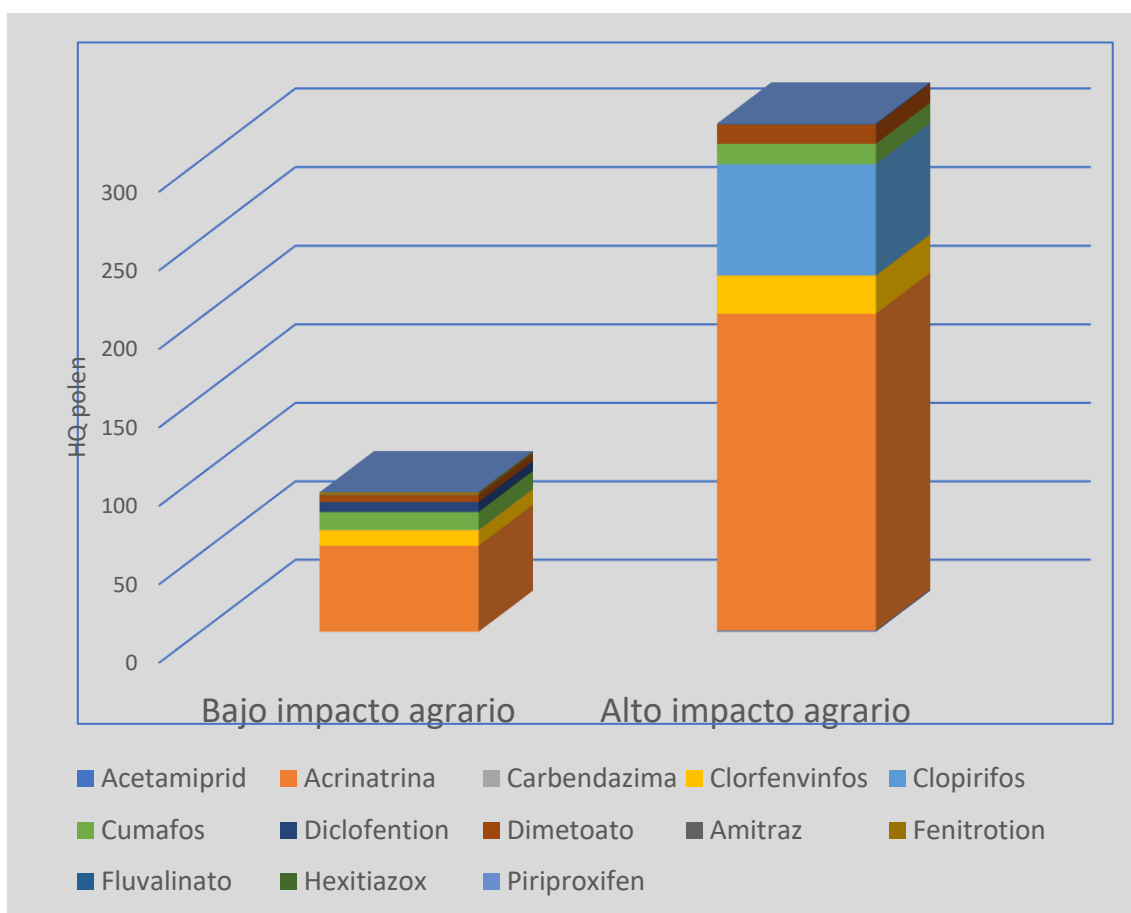
En la **GRAFICA 4** se exponen los datos de la contribución de cada plaguicida al valor del cociente de riesgo de la media de las 45 muestras de polen. Se repite lo comentado anteriormente, la acrinatrina contribuye casi un 50% y el clorpirifos en aproximadamente el 41%. Estos dos productos aportan más del 90% de la toxicidad potencial del polen.

Para poder sacar más conclusiones de las analíticas del polen almacenado en la **GRAFICA 5** se han agrupado los datos de la contribución al cociente de riesgo según el impacto agrario del entorno de las colmenas muestreadas. La diferencia es patente, en las zonas donde predomina la agricultura, el HQ_{polen} supera el valor de 300, mientras que, en las zonas de bajo impacto agrario, con claro predominio de la flora natural, alcanza un valor de 88,9.



GRAFICA 4. Contribución al cociente de riesgo HQ_{polen} de los plaguicidas detectados en el polen almacenado en los panales.

En los dos casos se supera el umbral de 50, pero en las zonas con menos agricultura el valor es 4 veces menor. Las aportaciones más significativas en el caso de zonas eminentemente agrarias son el clorpirifos y la acrinatrina. Este análisis diferenciado nos permite demostrar que una parte significativa de los residuos de acrinatrina encontrados en el polen recién almacenado se deben a tratamientos de los cultivos, porque si obedeciera solo a su uso como acaricida contra varroa el valor sería similar en los dos grupos. Es lógico pensar también que el polen recién depositado en los panales todavía no ha tenido tiempo para adquirir los contaminantes de la cera.



GRAFICA 5. Contribución al cociente de riesgo HQ_{polen} de los plaguicidas detectados en el polen según el impacto agrario del entorno de las colmenas muestreadas.

9. ALTERNATIVAS PARA DISMINUIR LOS RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN LAS COLMENAS.

Las dos fuentes básicas de cera genuina de abejas son el reciclado de panales viejos y el sello u opérculo de los panales de miel. Los niveles de contaminantes en la cera de los panales reciclados y de las láminas suele ser muy similar; en cambio, la cera de sello tiene una carga de residuos mucho menor. Como se ha comentado, la cera mayoritariamente utilizada para fabricar las láminas procede del reciclado de panales viejos.

Una opción muy recomendable para reducir la carga de contaminantes de las láminas sería fabricarlas mayoritariamente con **cera de opérculo**. Esto ya lo practican bastantes apicultores en España y desde luego es una forma muy eficaz para reducir los contaminantes que se acumulan en la cera. Además, al añadir cera virgen de opérculo, también se diluyen los

restos de parafinas industriales que forman parte de la cera debido a la adulteración durante el procesado, una práctica muy habitual según las conclusiones de varios estudios al respecto.

PLAGUICIDA	LAMINAS AÑO 2015	2016	2017	2018	2019
Cumafos	9486	2757	1940	282	295
Clorfenvinfos	1491	17	86	16	60
Clorpirifos	70	56	14	0	1
Fluvalinato	1085	77	62	55	100
Acrinatrina	415	940	2104	398	3
Amitraz total	41	367	425	126	161
Flumetrina	91	0	9	2	0
CARGA TOTAL	12679	4214	4640	880	620

TABLA 5. Evolución de los residuos de plaguicidas en las láminas de cera recicladas en círculo cerrado por un pequeño grupo de apicultores (concentración en $\mu\text{g}/\text{kg}$). Cada año se fabrican las láminas exclusivamente con la cera aportada por los miembros del grupo: 75% de opérculo y un 25% de cerón de panales reciclados.

En la **TABLA 5** se presentan los datos de la evolución de los residuos de plaguicidas en las láminas de cera recicladas exclusivamente con la cera de un grupo comprometido de apicultores entre 2016 y 2019. Las láminas estampadas se fabricaron cada año exclusivamente con cera del grupo: El 75% de cera de opérculo y un 25% de cerón de panales reciclados. Después de 4 años repitiendo el mismo patrón de reciclado, se produce una disminución de la concentración de todos los plaguicidas de más de un 90%, a excepción del amitraz. En el caso de la carga total, la reducción es del 95%. El cumafos se reduce en un 97%, la flumetrina no se detecta en 2019 y el clorpirifos, insecticida de uso agrario, se queda prácticamente en los límites de cuantificación. No hay muchos estudios de este tipo, pero los resultados son muy concluyentes y constituyen un fundamento sólido que recomienda este método para reducir la carga tóxica de nuestra cera.

De hecho, nos consta que cada vez más apicultores la practican, muchos de ellos autogestionando su cera y fabricando ellos mismos las láminas por métodos manuales o con cierta mecanización. Esta es una de las líneas más prometedoras para rebajar los efectos tóxicos de los contaminantes sobre las abejas, para limitar o incluso hacer retroceder los casos de resistencia de varroa a los acaricidas y también de recuperar la buena imagen de los productos apícolas.

Pero si queremos reducir de forma más sostenible los contaminantes de la cera reutilizada por los apicultores, debemos hacer algo más, **cambiar la mentalidad y la estrategia en el control de la varroosis**. Este cambio no va a ser fácil y pasa por desligarnos de la dependencia de los acaricidas de síntesis, disminuyendo al máximo su aplicación en las colmenas. Para ello, debemos introducir tratamientos alternativos e integrar métodos de manejo apícola contra varroa, dos pilares sobre los que asentar una estrategia que atenúe la carga tóxica en las colmenas y que no comprometa el futuro de los productos apícolas. En los últimos años ha aumentado el uso de moléculas con poder acaricida que se encuentran de forma natural en el medio ambiente como el ácido oxálico, timol o el ácido fórmico. Se ha mejorado mucho el manejo del ácido oxálico, que se puede administrar de varias formas y si se consigue combinar con periodos de ausencia de cría operculada, la eficacia supera normalmente el 90%. Realmente, este es el eje central del manejo contra varroa, conseguir periodos de **ausencia de cría operculada** y aplicar un acaricida, porque esto nos va a permitir conseguir eficacias cercanas al 95% y disminuir el número de tratamientos anuales.

La **selección de abejas tolerantes a varroa** sería otra línea de trabajo que podría ayudar a los apicultores a desligarse de los tratamientos acaricidas, pero todavía no ha dado resultados definitivos. Se ha conseguido avanzar en algunos países, unas veces mediante procesos de selección dirigida y otras recuperando colonias aisladas que han soportado durante años la presión de varroa sin desaparecer, pero no se ha logrado todavía transferir estos resultados con suficiente éxito a los apicultores en general. Hay que tener en cuenta que esta mejora debería realizarse respetando las subespecies autóctonas o razas geográficas de cada región

o país. Realmente, la mejora contra varroa no debería implicar la pérdida de la diversidad de abejas melíferas mediante una introducción de híbridos no autóctonos.

La reducción de fitosanitarios en la cera y el polen es un problema que no depende de los apicultores. Ha quedado patente con los datos expuestos, que la afluencia de contaminantes agrarios se reduce enormemente cuando las abejas pecorean en entornos naturales, pero habitualmente las colmenas se asientan en zonas agrarias por diversas razones. Los apicultores aprovechan tradicionalmente cultivos melíferos como los cítricos o el girasol, por lo que es seguro que entran en contacto con fitosanitarios. Cada vez con mayor frecuencia las colmenas son solicitadas por los agricultores para cumplir funciones de polinización. En cultivos como los almendros, aguacates, kiwis, melones, sandías, calabacines, colza, girasol, ...cada vez se instalan más colmenas mediante contratos de polinización. En estos casos, es inevitable que las abejas entren en contacto con fitosanitarios y el apicultor no puede evitar que entren con el polen y se instalen en la cera de una forma más persistente. En el presente trabajo hemos podido constatar la presencia de estos productos que a menudo presentan un nivel de toxicidad alta para las abejas. La única manera de minimizar este problema, que no solo afecta a las abejas sino a todo el ecosistema agrario, sería reduciendo el uso de fitosanitarios e instaurando progresivamente una agricultura más sostenible, un modelo que ya desde las instituciones europeas se está impulsando para evitar los problemas de la contaminación ambiental y los residuos de plaguicidas en los alimentos de origen vegetal que tanto impacto tienen en la salud humana.

Otra opción sería la **descontaminación de la cera** mediante filtros especiales usados durante el procesado. Hay algunas iniciativas comerciales que ya han puesto en el mercado cera descontaminada y hay apicultores que la han incorporado con éxito en sus colmenas. De todas formas, pensamos que este proceso aplicado a la producción de cera apta para el consumo apícola debería estudiarse más a fondo y mejorar en un futuro. El proceso de filtrado también retiene colorantes y aromas naturales de la cera que pueden ser vitales para su aceptación por las

abejas y probablemente hay una dependencia del tipo de filtro usado. Parece ser que los filtros retienen con mayor eficacia los organofosforados, de forma que su nivel puede bajar considerablemente, sin embargo, la concentración de los piretroides no disminuye igualmente. Por ello, hay que profundizar en el conocimiento de este proceso para ofrecer a los apicultores una cera óptima. En cuanto al contenido de adulterantes como la parafina, este proceso difícilmente puede resolver el problema, al contrario que la incorporación de cera de opérculo. Por último, surge el problema del elevado coste para el apicultor de la cera sometida a estos procesos y también que pasan a ser dependientes de un proceso externo con resultados inciertos y pérdida de control.

10. AGRADECIMIENTOS.

En este apartado queremos expresar nuestro agradecimiento a todos los que han colaborado y han hecho posible llevar a cabo los estudios que se presentan en este informe. En primer lugar, a **apiADS y COAG** por la financiación de las analíticas y por su preocupación sobre los problemas de residuos de plaguicidas en la apicultura. El trabajo de investigación de los residuos en el polen se financió a través de los fondos para proyectos de investigación previstos en el Plan Nacional Apícola, cofinanciado por la Unión Europea, el Ministerio de Agricultura y la Generalitat Valenciana. La colaboración es básica en el progreso de los conocimientos, por ello mostramos especial gratitud a los apicultores de todo el país que han abierto literalmente sus colmenas para permitir los muestreos de polen y a las uniones territoriales de **COAG** que han aportado muestras de láminas de cera. Esperamos que la información contenida en este informe sea de provecho para apicultores y técnicos y nos permita a todos ir mejorando en la sostenibilidad y el futuro de la apicultura.

11. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

- Albero B., Miguel E., García-Valcárcel A.I., 2023.- Acaricide residues in beeswax. Implications in honey, brood and honeybee.- *Environ Monit Assess* (2023) 195:454 *Environ Monit Assess* (2023) 195:454. *Doi.org/10.1007/s10661-023-11047-6*.
- Bogdanov S., 2006.- Contaminants of bee products.- *Apidologie* 37 (2006) 1–18 *DOI: 10.1051/apido:2005043*.

- Boi M., Serra G., Colombo R., Lodesani M., Massi S., Costa C., 2016.- A 10 year survey of acaricide residues in beeswax analysed in Italy.- *Pest Manag Sci* 2016; 72: 1366–1372. DOI 10.1002/ps.4161
- BoÈhme F, Bischoff G, Zebitz CPW, Rosenkranz P, Wallner K (2018) Pesticide residue survey of pollen loads collected by honeybees (*Apis mellifera*) in daily intervals at three agricultural sites in South Germany. *PLoS ONE* 13 (7): e0199995. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199995>.
- Commission Implementing Regulation (EU) 2020/17 of 10 January 2020 concerning the non-renewal of the approval of the active substance chlorpyrifos-methyl.-
- Calatayud F., Simó E., Domingo P., 2018.- Hacia un control integrado y sostenible contra varroa (Parte 1).- *Apicultura Ibérica*, nº 27: 15-24.
- Calatayud-Vernich P., Calatayud F., Simó E., Picó Y., 2017.- Occurrence of pesticide residues in Spanish beeswax.- *Science of the Total Environment*, 605–606 (2017) 745–754. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.174>).
- Calatayud-Vernich P., Calatayud F., Simo E., Picó Y., 2018 .- Pesticide residues in honey bees, pollen and beeswax: Assessing beehive exposure esidues in wax, pollen and honeybees.- *Environmental Pollution* 241 (2018) 106e114. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.062>.
- Di Noi A., Casini S., Campani T., Cai G., Caliani I., .- Review on Sublethal Effects of Environmental Contaminants in Honey Bees (*Apis mellifera*), Knowledge Gaps and Future Perspectives.- *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 1863. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041863>.
- El Agrebi N., Traynor K., Wilmart O., Tosi S., Leinartz L., Danneels E., de Graaf D.C., Saegerman C., 2020.- Pesticide and veterinary drug residues in Belgian beeswax: Occurrence, toxicity, and risk to honey bees.- *Science of the Total Environment*, 745(2020)141036. [Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141036](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141036).
- El Agrebi N, Svečnjak L, Horvatinec J, Renault V, Rortais A, Cravedi J-P, et al. (2021).- Adulteration of beeswax: A first nationwide survey from Belgium. *PLoS ONE* 16(9): e0252806. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252806>
- Hernandez-Rodriguez C.S., Moreno-Marti S., Almecija G., Christmon K., Johnson J.D., Ventelon M., vanEngelsdorp D., Cook S.C., Gonzalez-Cabrera J., 2021.- 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* , December 2021. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01471-3>.
- Hernández-Rodríguez, C.S.; Marín, Ó.; Calatayud, F.; Mahiques, M.J.; Mompó, A.; Segura, I.; Simó, E.; González-Cabrera, J., 2021.- Large-Scale Monitoring of Resistance to Coumaphos, Amitraz, and Pyrethroids in *Varroa destructor*. *Insects* **2021**, 12, 27. <https://doi.org/10.3390/insects120100>.
- Jiménez J.J., Bernal J.L., del Nozal M.J., Martín M.T., 2005.- Residues of organic contaminants in beeswax.- *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **107** (2005) 896–902. DOI 10.1002/ejlt.200500284.
- Johnson R.M., Ellis M.D., Mullin C.A., Frazier M., 2010.- Pesticides and honey bee toxicity – USA.- *Apidologie*, may 2010. DOI: 10.1051/apido/2010018.
- Kiljanek ., Niewiadowska A., Gawel M., Semeniuk S., Borzecka M., Posyniak A., Pohorecka K., 2017.- Multiple pesticide residues in live and poisoned honeybees- Preliminary exposure assessment.- *Chemosphere* 175 (2017) 36-44. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.028
- Lodesani M., Colombo M., Spreafico M., 1995.- Ineffectiveness of Apistan® treatment against the mite *Varroa jacobsoni* Oud in several districts of Lombardy (Italy).- *Apidologie* 39 (2008) 324–333 . DOI: 10.1051/apido:2008012

- Marti J.N.G., Kilchenmann V., Kast C., 2022.- Evaluation of pesticide residues in commercial Swiss beeswax collected in 2019 using ultra-high performance liquid chromatographic análisis.- *Environmental Science and Pollution Research*, 2022: 29: 32054-32064 (<https://doi.org/10.1007/s11356-021-18363-9>).
- Ostiguy N., Drummond F.A., Aronstein K., Eitzer B., Ellis J.D., Spivak M., Sheppard W.S., 2019.- Honey Bee Exposure to Pesticides: A Four-Year Nationwide Study.- *Insects*, 2019, 10,13. ([doi:10.3390/insects10010013](https://doi.org/10.3390/insects10010013)).
- EU PESTICIDES DATABASE.
- PESTICIDES PROPERTIES DATABASE (PPDB), University of Hertfordshire.
- Rubio F., Guo E., Kamp L., 2014.- Survey of Glyphosate Residues in Honey, Corn and Soy Products.- *J. Environ Anal Toxicol* 2014, 5:1. <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0525.1000249>.
- Sánchez-Bayo F., Goulson d., Pennacchio F., Nazzi F., Goka K., Desneux N., 2016.- Are bee diseases linked to pesticides? A brief review.- *Environment International* 89–90 (2016) 7–11. (doi.org/10.1016/j.envint.2016.01.009).
- Serra-Bonvehí J., Orantes-Bermejo J., 2010.- ACARICIDES AND THEIR RESIDUES IN SPANISH COMMERCIAL BEESWAX.- *Pest Manag Sci*, 2010; **66**: 1230–1235. DOI 10.1002/ps.1999.
- Stoner KA, Eitzer BD (2013) Using a Hazard Quotient to Evaluate Pesticide Residues Detected in Pollen Trapped from Honey Bees (*Apis mellifera*) in Connecticut . *PLoS ONE* 8(10): e77550. [doi:10.1371/journal.pone.0077550](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077550).
- Teeters, Bethany S.; Johnson, Reed M.; Ellis, Marion D.; and Siegfried, Blair D., "Using Video-Tracking to Assess Sublethal Effects of Pesticides on Honey Bees (*Apis mellifera* L.)" (2012). Faculty Publications: Department of Entomology. 608. <http://digitalcommons.unl.edu/entomologyfacpub/608>.
- Thompson H., 2003.- Behavioural Effects of Pesticides in Bees. Their Potential for Use in Risk Assessment.- *Ecotoxicology*, 12: 317-330.
- Tosi S., Sfeir C., Carnesecchi E., vanEngelsdorp D., Chauzat M., 2022.- Lethal, sublethal, and combined effects of pesticides on bees: A meta-analysis and new risk assessment tools.- *Science of the Total Environment*, Vol 844, October 2022, 156857. [Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156857](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156857).
- Traynor K.S., Pettis J.P., Tarpy D.R. Mullin C.A., Frazier J.L., Frazier M., vanEngelsdorp D., 2016.- In-hive Pesticide Exposome: Assessing risks to migratory honey bees from in-hive pesticide contamination in the Eastern United States.- *Scientific Reports* | 6:33207 | DOI: 10.1038/srep33207.
- Urlacher E., Monchanin C., Rivière C., Richard F., Lombardi C., Michelsen S., Kimberly H., Hageman J., Mercer A.R., 2016.- Measurements of Chlorpyrifos Levels in Forager Bees and Comparison with Levels that Disrupt Honey Bee Odor-Mediated Learning Under Laboratory Conditions.- *J ChemEcol*, Feb. 2016. DOI 10.1007/s10886-016-0672-4.
- Wallner k.,1999.- Varroacides and their residues in bee products.- *Apidologie*, Springer Verlag, 1999, 30 (2-3), pp.235-248. <hal-00891581.
- Wu JY, Anelli CM, Sheppard WS (2011) Sub-Lethal Effects of Pesticide Residues in Brood Comb on Worker Honey Bee (*Apis mellifera*) Development and Longevity. *PLoS ONE* 6(2): e14720. [doi:10.1371/journal.pone.0014720](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014720).
- Zhu W, Schmehl DR, Mullin CA, Frazier JL (2014) Four Common Pesticides, Their Mixtures and a Formulation Solvent in the Hive Environment Have High Oral Toxicity to Honey Bee Larvae. *PLoS ONE* 9(1): e77547. [doi:10.1371/journal.pone.0077547](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077547).

