



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**ESTADO DEL ARTE EN RELACIÓN A LA RESISTENCIA A PLAGUICIDAS EN
PLAGAS AGRÍCOLAS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN CHILE**

CATALINA JESÚS FLORES DROGUETT

Santiago, Chile

2022



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**ESTADO DEL ARTE EN RELACIÓN A LA RESISTENCIA A PLAGUICIDAS EN
PLAGAS AGRÍCOLAS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN CHILE**

**STATE OF THE ART ON PESTICIDE RESISTANCE IN AGRICULTURAL PESTS
OF ECONOMIC IMPORTANCE IN CHILE**

CATALINA JESÚS FLORES DROGUETT

Santiago, Chile

2022

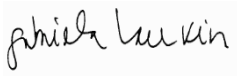
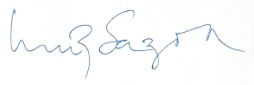



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**ESTADO DEL ARTE EN RELACIÓN A LA RESISTENCIA A PLAGUICIDAS EN
PLAGAS AGRÍCOLAS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN CHILE**

Memoria para optar al título
Profesional de Ingeniera Agrónoma

CATALINA JESÚS FLORES DROGUETT

		Calificaciones
PROFESORA GUÍA Gabriela Lankin V. Ingeniera Agrónoma, M.S. Ph.D.		7,0
PROFESORES EVALUADORES Luis Sazo R. Ingeniero Agrónomo		6,2
Thomas Fichet L. Ingeniero Agrónomo, Dr.		6,6

Santiago, Chile

2022

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que fueron parte de este largo proceso, sobre todo a Ángel, Rossana, Valentina y Pedro Pablo, que nunca perdieron la fe en mí y siempre estuvieron conmigo en los momentos más difíciles. Además, agradecer a Cristóbal, mi fiel compañero, apoyo y refugio en momentos de estrés y alegrías.

Por otra parte, agradecer a mi grupito de la U, por las incontables noches de estudio, risas y carretes. A mi profesora guía, Gabriela Lankin, por su disposición y ayuda desde el primer momento.

Por último, agradecer a Germán y Rosemary que, en mi peor momento, me mostraron la luz y guiaron para poder llegar a este momento.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
SUMMARY	2
INTRODUCCIÓN	3
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos	5
METODOLOGÍA	6
Materiales	6
Metodología.....	6
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
Resistencia.....	7
Antecedentes.....	7
Mecanismos de resistencia.....	9
Estudio de los mecanismos de resistencia	13
Resistencia cruzada y múltiple	16
Manejo de la resistencia.....	17
Resistencia a insecticidas en Chile	19
Estudios de resistencia en plagas de frutales	19
Estudios de resistencia en plagas de hortalizas.....	29
Estudios de resistencia en plagas de hospederos frutales y hortalizas.....	41
Análisis de los datos presentados.....	47
CONCLUSIONES	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55
APÉNDICE	64

RESUMEN

La resistencia a los insecticidas es un tema que ha incrementado su importancia en la actualidad, ya que a nivel global, más de 500 especies de insectos y ácaros han desarrollado algún nivel de pérdida de susceptibilidad a diferentes productos sintéticos utilizados para su control. En Chile, existe poca información sobre el grado de resistencia a plaguicidas en insectos de importancia agronómica, ya que se han llevado a cabo limitadas investigaciones al respecto.

Con el propósito de establecer el estado del arte en relación a la resistencia a plaguicidas en plagas agrícolas de importancia económica en Chile, se realizó esta memoria que tuvo como objetivo describir los mecanismos de resistencia a insecticidas más relevantes que presentan los insectos, conocer su estado y nivel de resistencia, y por último, analizar la situación actual en nuestro país frente a este problema.

La mayor parte de los recursos utilizados se obtuvieron a través de diferentes buscadores de información en la web. Sin embargo, la información que evidencia la situación en Chile frente a la resistencia a insecticidas fue obtenida, principalmente, de la biblioteca de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Chile, a través de material impreso.

En el presente trabajo se pudo evidenciar la escasa información que existe en Chile sobre la resistencia a insecticidas y el atraso con respecto a las investigaciones realizadas a nivel internacional sobre las mismas especies. Se han registrado solamente 23 estudios para 11 especies plaga en los últimos 46 años (1976-2022). Además, la mayor parte de los estudios fue realizados antes del año 2010, lo cual manifiesta la necesidad de nuevas investigaciones que reflejen el real escenario frente a esta problemática. Por otra parte, se pudo concluir que la situación de desarrollo de resistencia en Chile ha empeorado a través de los años debido al aumento de la actividad agrícola en el país, la falta de regulación de ventas y uso de productos sintéticos, su bajo costo y la falta de información por parte de los agricultores sobre el impacto que generan estos productos.

Palabras clave: productos sintéticos, susceptibilidad, insecticida, mutación.

SUMMARY

Insecticide resistance is an issue that has become increasingly important nowadays, since globally, more than 500 species of insects and mites have developed some level of loss of susceptibility to different synthetic products used for their control. In Chile, there is little information on the degree of resistance to pesticides in insects of agronomic importance, because limited research has been conducted in this regard.

To establish the state of the art in relation to pesticide resistance in agricultural pests of economic importance in Chile, this study was carried out with the objective of describing the most relevant insecticide resistance mechanisms presented by insects, to know their status and level of resistance, and finally, to analyze the current situation in our country in relation to this problem.

Most of the resources used were obtained through different information search engines on the web; however, the information that evidences the situation in Chile regarding insecticide resistance was obtained mainly from the library of the Faculty of Agricultural Sciences of the University of Chile, through printed material.

The present study revealed the limited information that exists in Chile on insecticide resistance and the delay with respect to research conducted internationally on the same species. Only a total of 23 studies have been conducted for 11 pest species in the last 46 years (1976-2022). In addition, most of the studies were carried out before 2010, which highlights the need for new research that reflects the real scenario of this problem. On the other hand, it was concluded that the situation of resistance development in Chile has worsened over the years due to the increase in agricultural activity in the country, the lack of regulation of sales and use of synthetic products, their low cost, and the lack of information on the part of farmers about the impact generated by these products.

Key words: synthetic products, susceptibility, insecticide, mutation.

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la agricultura, los artrópodos han desempeñado un papel importante, ya que son capaces de producir daño a nivel productivo y económico en los cultivos. Estos daños ocurren por la alimentación de estos individuos o al actuar como vectores de enfermedades, y se manifiestan en la disminución de rendimiento y/o pérdida de calidad de los productos agrícolas. Estos organismos se consideran como plagas y ha sido necesario hacerles frente, estableciendo estrategias de manejo, las cuales han ido variando a lo largo de los años con los avances tecnológicos y las regulaciones medioambientales (Salas y Quiroz, 2016).

Existen variadas estrategias de control de estas plagas, sin embargo, en la actualidad el uso de productos sintéticos es la más común para el manejo de plagas, enfermedades y malezas, porque ha demostrado ser rápido y efectivo (Jiménez, 2009). Los plaguicidas sintéticos matan directamente a la plaga, generalmente exponiéndola a sustancias letales o condiciones ambientales inadecuadas, reduciendo el potencial reproductivo de una población plaga, ya sea modificando su entorno (biótico y abiótico) o restringiendo su movimiento, y modificando su comportamiento para hacerla menos problemática (Zhang *et al.*, 2007). Sin embargo, el uso desmedido de plaguicidas sintéticos ha causado problemas ambientales, agroecológicos y sobre la salud humana, debido al aumento de la contaminación del medio ambiente, intoxicaciones y resistencia, entre otros (Jiménez, 2009).

El desarrollo de resistencia a los insecticidas se convierte en un problema cada vez más importante, ya que en la actualidad, más de 500 especies de insectos y ácaros son resistentes, al menos a un producto insecticida o acaricida de los utilizados para su control (Van Leeuwen *et al.*, 2020). La organización internacional Insecticide Resistance Action Committee (IRAC, 2021) define la resistencia como un cambio heredable en la susceptibilidad de una población plaga que se manifiesta en repetidos fallos de un producto para alcanzar los niveles de control esperados, al ser utilizado de acuerdo con las recomendaciones de la etiqueta para esa plaga. Se puede llegar a esta situación por el uso desmedido de un plaguicida en el control de cierta plaga, que es resultado de la selección Darwiniana de formas resistentes del individuo y, por ende, la evolución de las poblaciones que llegan a convertirse en resistentes a ese insecticida o acaricida.

En condiciones normales, sin el uso masivo de productos sintéticos, la resistencia se manifiesta en un pequeño porcentaje de la población, debido a la baja competitividad entre

individuos resistentes e individuos sensibles. En cambio, en condiciones de presión de selección, como en el caso del control con plaguicidas sintéticos, su condición genética los hace sobrevivir, generando como consecuencia un desequilibrio de la población; es decir, el bajo porcentaje de individuos resistentes inicia su desarrollo y multiplicación debido a la poca competencia con los individuos susceptibles, que son controlados químicamente (Vargas *et al.*, 2008).

Hoy por hoy, la condición de resistencia en los individuos plaga está prevaleciendo y estos tienen la capacidad de ser resistentes a uno o más plaguicidas (Vargas *et al.*, 2008), por lo que se ha introducido el concepto de Manejo de la Resistencia a los Insecticidas, entendiendo que es un fenómeno con alta probabilidad de ocurrencia y su intensidad o aparición depende del manejo racional que se haga de estos plaguicidas (Silva, 2000). Por otro lado, la disminución de la sensibilidad muchas veces resulta en un aumento en la frecuencia y dosis de aplicaciones de plaguicidas, lo que genera una mayor contaminación medioambiental de aire, agua y suelo, desarrollando mayor riesgo para la salud humana (Vargas *et al.*, 2008).

En Chile existen escasos registros respecto del grado de desarrollo de resistencia a plaguicidas en poblaciones locales de insectos plaga de importancia económica para la agricultura. Hace más de dos décadas, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) desarrolló un programa de monitoreo a los productos sintéticos usados principalmente para combatir las plagas clave de los cultivos hortofrutícolas de mayor relevancia. A través de este programa se buscaba identificar los casos de falla de control causados por la resistencia, el nivel de resistencia adquirido a los diferentes plaguicidas y la estrategia de manejo apropiada para cada situación (Vargas, 1996). Sin embargo, desde que se realizó ese estudio se ha generado escasa información nueva relacionada con esta materia, por lo que la investigación de este fenómeno es de suma importancia, ya que las fallas en el control, en la mayoría de los casos, se atribuyen a errores en el volumen de mojamiento, calibración de maquinaria de aplicación, formulaciones, dosis, entre otros factores. El desconocer el grado de sensibilidad de una población plaga a un insecticida impide tomar las decisiones adecuadas en relación a un manejo efectivo de las plagas.

Objetivo General

El objetivo de este trabajo es establecer el estado del arte, en relación al nivel de resistencia a plaguicidas de diferentes plagas de importancia económica que afectan los cultivos hortofrutícolas a nivel nacional en la actualidad.

Objetivos Específicos

- 1) Describir mecanismos de resistencia a plaguicidas más importantes que presentan insectos y ácaros.
- 2) Conocer el estado y nivel de resistencia que han desarrollado poblaciones de ácaros e insectos plaga de importancia económica para la agricultura, dentro y fuera de Chile.
- 3) Analizar la situación actual, en Chile, frente a la resistencia a insecticidas y acaricidas.

METODOLOGÍA

Materiales

El presente estudio se realizó entre los meses de septiembre de 2021 y mayo de 2022, utilizando recursos bibliográficos tales como publicaciones científicas, libros, tesis, artículos de revistas científicas, etc. Gran parte de los recursos fueron obtenidos en línea a través de diferentes motores de búsqueda de información en la web, como la Biblioteca Digital de la Universidad de Chile, Web of Science, Google Scholar, entre otras. Sin embargo, la información obtenida de diferentes investigaciones que demuestran la situación actual de la resistencia a plaguicidas Chile fue obtenida principalmente de la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, desde material impreso.

Metodología

En el caso de la búsqueda de información bibliográfica, se ordenó la información de lo más general a lo más particular, teniendo como eje conductor el origen y definición de la resistencia, los mecanismos de acción de resistencia a plaguicidas, las causas y consecuencias de la resistencia y si ésta es reversible, las principales especies que presentan resistencia a plaguicidas en Chile y su comportamiento en el extranjero y cuál es su impacto a nivel medioambiental, etc.

Luego de obtener la información sobre los estudios de resistencia realizados en Chile, se analizó el escenario actual y se comparó con la situación internacional, evidenciando el avance que se ha desarrollado en el país y en qué especies se han realizado más investigaciones. Por otra parte, para manifestar el contexto en el que se encuentra Chile, en comparación a la situación internacional, se realizó una búsqueda en la base de datos Web of Science, utilizando los términos “resistance”, “insecticide” o “acaricide” (según corresponda) y el nombre científico de la especie en cuestión. A partir de esta búsqueda, se realizó un cuadro para cada especie, en el cual se demuestra el número de estudios internacionales realizados, en distintas décadas, comparándolos con los que se han desarrollado en Chile, en el mismo periodo de tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resistencia

Antecedentes

La primera mención internacional de resistencia a plaguicidas se hizo en 1914 en Estados Unidos para la Escama de San José al Polisulfuro de Calcio (Silva, 2000; Vargas, 1996). A partir de ese evento, el aumento de la resistencia y su importancia se ha acrecentado con el uso masivo de los plaguicidas a lo largo de los años (Cermeli y Díaz, 2016). Hasta mediados de la década de los 90, fueron reportados 504 casos de resistencia a nivel mundial, entre los cuales se incluyen insectos, arañas, hongos, nemátodos y malezas. En ese entonces, la resistencia a plaguicidas fue declarada por las Naciones Unidas como uno de los cuatro mayores problemas para el medioambiente, destinando considerables recursos para el desarrollo del manejo sustentable de plagas (Vargas, 1996). Para el año 2010, solamente en insectos, se tenía registro de más de 526 especies plaga con desarrollo de resistencia a insecticidas en el mundo y, desde entonces, se ha registrado un promedio de 13 nuevos casos de resistencia cada año (Cloyd y Cowles, 2010).

La resistencia puede definirse como el desarrollo de la habilidad, por parte de los insectos, para tolerar una dosis de insecticida que se considera letal para la mayor parte de los individuos de una población normal. Se considera como un fenómeno pre adaptativo y es completamente dependiente de la selección con plaguicidas (Cermeli y Díaz, 2016). La “presión de selección”, o proporción de la población plaga que es afectada por el plaguicida, es el factor principal para su desarrollo, así como la variación genética en el insecto que es susceptible al producto sintético, lo que influye en la evolución de la resistencia (Cloyd y Cowles, 2010). El fenómeno de la resistencia se expresa a través de la aparición de individuos resistentes que se originan luego del uso prolongado e indiscriminado de un producto sintético, generando en estos una tolerancia a las dosis letales establecidas para los individuos sensibles. Por lo tanto, la resistencia se basa en una evolución genética de las poblaciones en las que los individuos resistentes son capaces de sobrevivir y reproducirse entre ellos, generando un incremento en la frecuencia (o proporción) de individuos resistentes (Figura 1) (Santo, 2011).

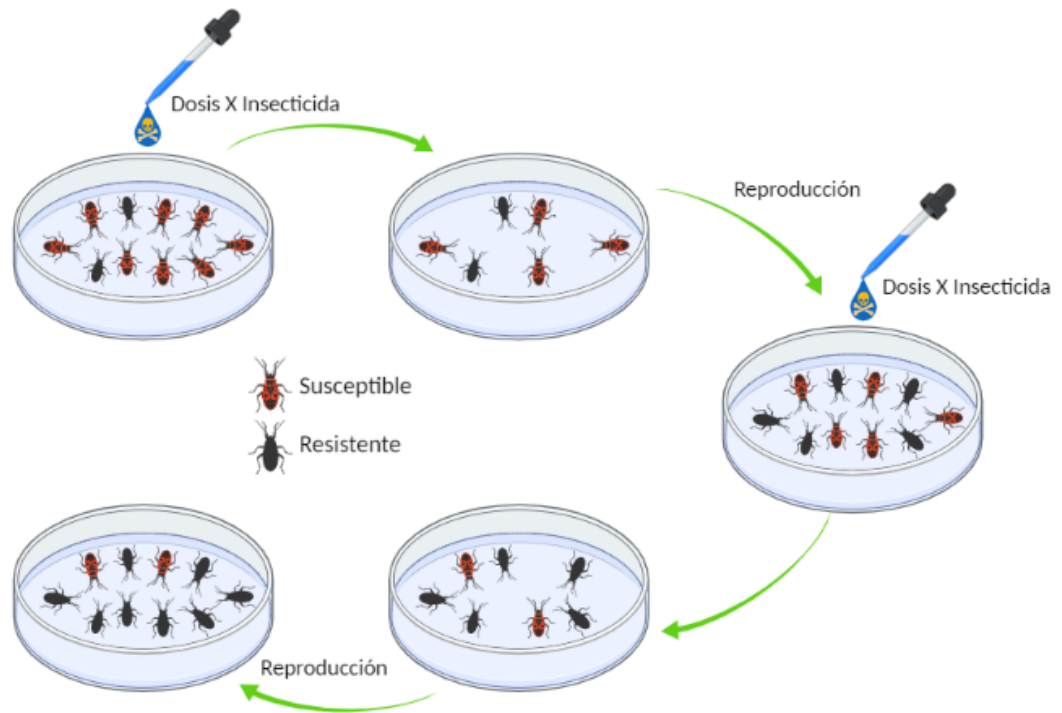


Figura 1. Aumento de la frecuencia de insectos resistentes a una dosis fija “X” de insecticida con el empleo prolongado del mismo en su control.

En el proceso de desarrollo de la resistencia puede estar involucrado sólo un gen (monogénica) o puede deberse a más de un gen (poligénica). Sin embargo, el número de genes responsables siempre es reducido (Cermeli y Díaz, 2016) y pueden ocurrir en menor frecuencia en poblaciones plaga antes de someterse al plaguicida. Además, un individuo por sí sólo no se vuelve resistente, sino que son las reiteradas aplicaciones de productos sintéticos en sucesivas generaciones lo que hace que los individuos susceptibles sean removidos de la población, manteniéndose y reproduciéndose así los individuos resistentes. De esta manera es como una población plaga con resistencia es muy difícil de controlar a través de aplicaciones de productos sintéticos (Cloyd y Cowles, 2010). Cabe destacar que, a pesar de generar beneficios en los insectos, la resistencia también está asociada a costos en la aptitud física de los mismos, generando una reducción en el rendimiento reproductivo, tiempos de desarrollo más largos y una reducción del tamaño corporal en ambientes libres de insecticidas (Castañeda *et al.*, 2011). Existen diversos tipos de genes que otorgan resistencia, los cuales pueden aportar distintos tipos de mecanismos de protección. Cada mecanismo puede proporcionar resistencia en mayor o menor grado frente a un plaguicida definido y en algunos casos les puede otorgar protección contra otros plaguicidas (Oficina Sanitaria Panamericana, 1979).

Mecanismos de resistencia

Los insectos han desarrollado variadas estrategias para superar las barreras químicas y físicas de los vegetales, incluyendo mecanismos fisiológicos, bioquímicos y conductuales, los cuales les permiten alimentarse de plantas que son protegidas químicamente (Silva, 2011). Estos mecanismos pueden conferirles resistencia a los plaguicidas a distintas poblaciones de una misma plaga y la coexistencia de éstos, se denomina resistencia polifactorial. Los mecanismos de resistencia son metabólico, físico, fisiológico, de comportamiento y natural (Cloyd y Cowles, 2010). Sin embargo, los mecanismos que desarrollan niveles más altos de resistencia son el aumento de la detoxificación y la modificación del sitio de acción, por lo que son los más estudiados (Mougabure, 2004).

Mecanismo de resistencia metabólico. El mecanismo de resistencia metabólico es el más común en los insectos y ácaros, caracterizándose por su eficiente sistema enzimático que es capaz de anular el efecto tóxico de los plaguicidas, ya que favorecen su degradación (Vargas, 1996), otorgándole a la plaga la capacidad de descomponer el ingrediente activo del plaguicida. Cuando el producto químico entra al cuerpo del insecto, las enzimas son capaces de atacar o detoxificar el ingrediente activo, convirtiéndolo en una sustancia no tóxica para el individuo. Los insecticidas se consideran de naturaleza hidrofóbica, por lo que estas enzimas detoxificantes los convierten en compuestos con menor actividad biológica y aumentan su capacidad hidrofílica para poder ser eliminados vía excreción (Figura 2) (Cloyd y Cowles, 2010).

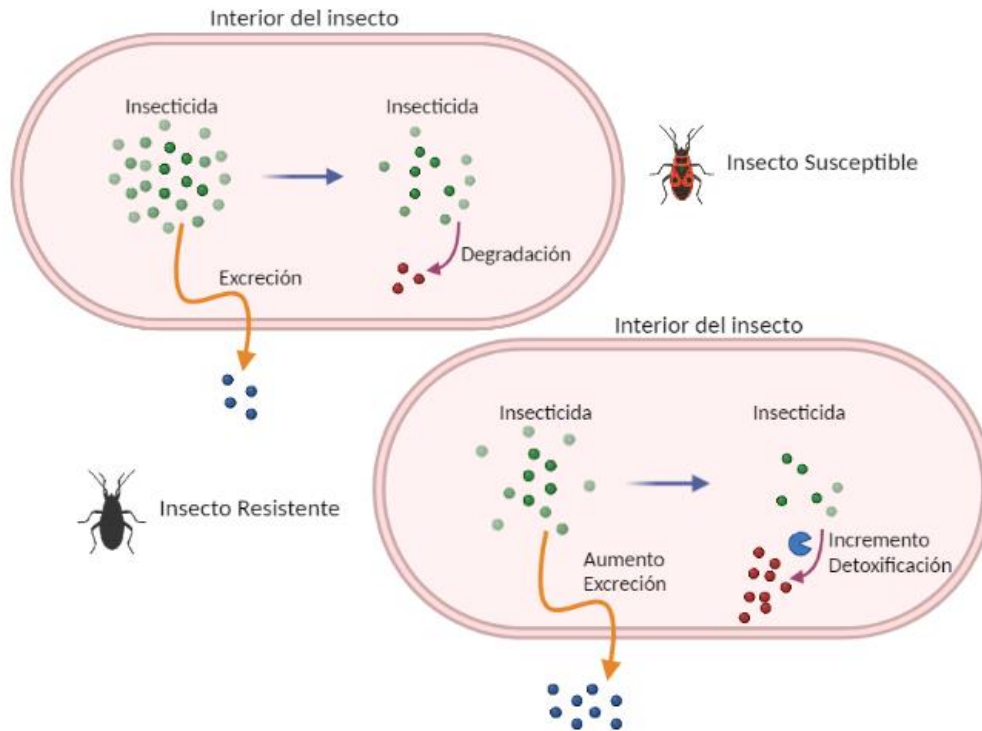


Figura 2. Insecticida en individuo susceptible versus individuo resistente con mecanismo de resistencia metabólica.

En este proceso están involucradas una gran familia de enzimas, como es el caso de las hidrolasas (incluyendo a las carboxilesterasas), glutatión-S-transferasas y citocromo P450 monooxigenasa, las cuales son capaces de metabolizar compuestos químicos vegetales, hormonas de insectos y plaguicidas. Los niveles de estas enzimas no son constantes en el tiempo, sino que cambian a medida que las plagas se van desarrollando, lo cual puede generar cambios en la susceptibilidad según el estado de desarrollo del individuo y, además, estos niveles pueden cambiar al exponer a los insectos a diversos productos sintéticos a través del proceso de inducción de enzimas (Cloyd y Cowles, 2010).

Las enzimas hidrolasas o esterases son un grupo heterogéneo que se caracteriza principalmente por catalizar la hidrólisis de carboxilésteres, fosfoésteres y distintos ésteres, de manera que participan en la detoxificación de moléculas que tienen en su estructura dichos grupos, como son los insecticidas organofosforados, carbamatos y piretroides. El aumento de la hidrólisis de estos compuestos, que es catalizada por estas enzimas, es una de las bases bioquímicas fundamentales que genera el desarrollo de resistencia en plagas que son sometidas a aplicaciones con los plaguicidas mencionados anteriormente (Mougabure, 2004).

La enzima glutatión-S-transferasa juega un papel fundamental en la detoxificación de xenobióticos, además de participar en el transporte intracelular y la biosíntesis de hormonas (Silva, 2011). Asimismo, tiene como propósito la catálisis del ataque nucleofílico del tripéptido glutatión sobre una variedad de sustratos activos y estas enzimas tienen una función fundamental en el metabolismo de los insecticidas organofosforados, ya que participan en la separación de un grupo alquil o aril que forman parte del insecticida. Existen varios tipos de glutatión-S-transferasas y la sobreexpresión de alguna de ellas, resulta en una alta actividad enzimática en insectos resistentes (Mougabure, 2004).

El metabolismo oxidativo de xenobióticos es ejecutado en su mayoría por las enzimas P450 o también denominadas como oxidasas de función mixta (OFM), citocromo P450 monooxigenasas, etc. La función principal de estas enzimas es metabolizar sustratos lipofílicos para aumentar su solubilidad en agua o adicionando grupos funcionales que favorezcan las reacciones de conjugación, de manera que sean capaces de facilitar su posible excreción. Estas enzimas también están relacionadas con el metabolismo de ecdisteroides, hormonas juveniles, entre otros compuestos. Por lo tanto, el incremento de la tasa de detoxificación por el metabolismo oxidativo que depende del complejo P450 es uno de los mecanismos de resistencia más importantes (Mougabure, 2004) y el único que participa en la resistencia de todas las clases de insecticidas en un gran número de plagas (Silva, 2011).

Mecanismo de resistencia de comportamiento. El comportamiento de los insectos se considera como mecanismo de resistencia, ya que a través del tiempo han podido desarrollar la habilidad de evadir el contacto letal de los plaguicidas (Figura 3), ya sea escondiéndose en lugares que son difíciles de penetrar, como los puntos de crecimiento terminales de las plantas; o a través de la pérdida de extremidades que estuvieron en contacto con los residuos del plaguicida (Cloyd y Cowles, 2010). Se pueden identificar dos sistemas de interrupción a la exposición del plaguicida: la irritabilidad y repelencia. En el caso de la irritabilidad, los individuos se exponen por un periodo corto de tiempo al plaguicida y son capaces de alejarse de esa zona. En el caso de la repelencia, los insectos tienen la facultad de detectar el producto químico antes de entrar en contacto con él y así lo evitan (Vargas, 1996).

Mecanismo de resistencia física. La forma de penetración de los plaguicidas también se considera como un mecanismo de resistencia física, ya que los insectos han sido capaces de reducir la absorción de productos sintéticos, a través de una alteración fisicoquímica, por parte de la epidermis (Figura 3) (Vargas, 1996). Esta alteración en la cutícula o integumento genera un retraso en la penetración, lo cual reduce la concentración del plaguicida en el sitio objeto y evita que se exceda el sistema de detoxificación de la plaga (Cloyd y Cowles, 2010).

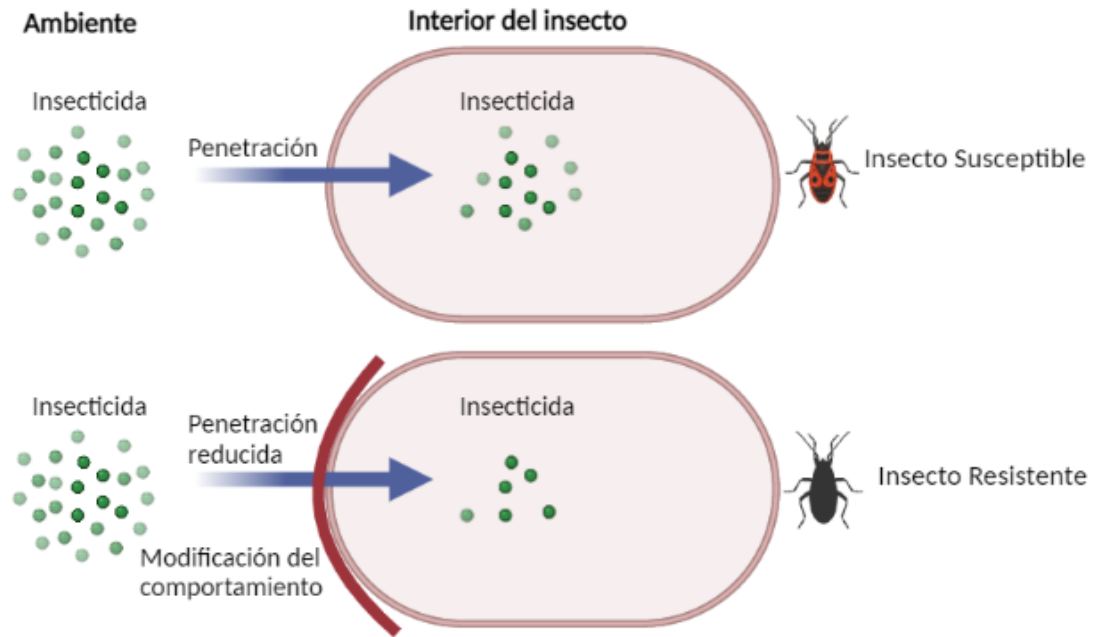


Figura 3. Insecticida en individuo susceptible versus individuo resistente con mecanismo de resistencia física y/o de comportamiento.

Mecanismo de resistencia natural. En el caso de la resistencia natural, el término se utiliza cuando el insecto se expone reiteradas veces a una toxina ya existente y va perdiendo susceptibilidad, pero no por aplicaciones de plaguicidas. Esto puede deberse a rasgos metabólicos, fisiológicos o de cualquier otro mecanismo de resistencia (Cloyd y Cowles, 2010).

Mecanismo de resistencia fisiológica. Los productos sintéticos tienen modos de acción en los que pueden interactuar con proteínas blanco, tales como enzimas, canales o receptores de membrana, de manera que pueden afectar su funcionamiento. Cuando el individuo presenta resistencia, estas proteínas pueden presentar cambios en su estructura debido a mutaciones en los genes codificantes, los cuales producen cambios en las secuencias aminoacídicas de estas proteínas, generando una insensibilidad en los sitios de acción de los insecticidas (Fuentes-Contreras, 2021). La resistencia fisiológica se caracteriza por el desarrollo de insensibilidad del sitio de acción (ISA) que interacciona con el plaguicida, por lo que no se puede llevar a cabo la respuesta, disminuyendo la efectividad del producto químico (Figura 4). Es conocido que se genere resistencia de este tipo con los grupos organofosforados, carbamatos y piretroides (Cloyd y Cowles, 2010). La ISA consta de tres mecanismos principales que son una acetilcolinesterasa insensitiva, al derribo o “Knockdown resistance” (Kdr) e insensibilidad a los ciclodienos (Silva, 2000).

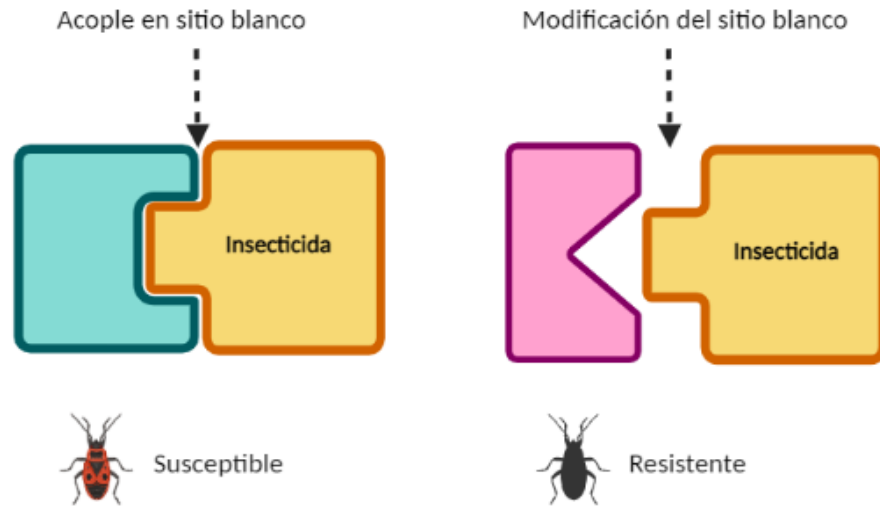


Figura 4. Insecticida en individuo susceptible versus individuo resistente con mecanismo de resistencia fisiológica.

El mecanismo de la Acetilcolinesterasa insensitiva es común que se presente en grupos organofosforados y carbamatos, asociándose a múltiples formas mutantes de la Acetilcolina, por lo que el insecticida no puede ejercer su acción, ya que no es capaz de acoplarse. Por otra parte, existe el mecanismo de resistencia Kdr, que impacta tanto a piretroides como a organoclorados, a través de una modificación o disminución de la sensibilidad de los canales de sodio, debido a alteraciones en las propiedades fisicoquímicas de los fosfolípidos y proteínas de dichos canales (Silva, 2000). Estas alteraciones desencadenan en el impedimento de cierre de los canales de sodio, luego de la activación y despolarización de la membrana, resultando en un escape continuo de sodio a través de la membrana nerviosa (Santo, 2011). Por último, la insensibilidad a ciclodienos resulta de un cambio en el sitio activo que es capaz de reconocer estos compuestos, en otras palabras, el transportador de iones de cloro del complejo GABA (ácido gama aminobutírico) (Silva, 2000), inhibiendo el flujo del ion cloruro dentro del axón e interrumpiendo el flujo de calcio (Santo, 2011).

Estudio de los mecanismos de resistencia

Existen diferentes análisis utilizados sobre muestras representativas de las poblaciones de insectos en estudio, los cuales son empleados para poder llevar a cabo el monitoreo de la resistencia de una determinada población plaga que es sometida al uso de productos sintéticos (Santo, 2011).

Análisis toxicológico. Este análisis se basa en bioensayos que consisten en la exposición de los individuos de forma individual y a través del contacto a diferentes dosis de plaguicidas, de manera que se pueda determinar un parámetro estadístico de toxicidad, siendo el ejemplo más común la Dosis Letal Media (DL50) o Concentración Letal Media (CL50) (Santo, 2011). El grado o factor de resistencia se mide a través de la relación entre la DL50 de la población resistente y la de la población susceptible o referencial. Esta razón varía con los productos y los métodos utilizados, pero siempre depende de la penetración, transporte y reacciones de intoxicación y detoxificación. La selección con un producto químico determinado será más propensa a favorecer los alelos que causan mayor resistencia, pero al mismo tiempo la selección natural actuará restringiendo la variabilidad disponible (Cermeli y Díaz, 2016). Para este tipo de análisis es necesario tener una población susceptible como referencia, por ejemplo, una colonia de insectos establecida por 5 generaciones en laboratorio y, por otro lado, se necesita una población susceptible de campo, que no haya sido expuesta al insecticida, de manera que sirva de control de la población de referencia establecida en laboratorio. Los insectos seleccionados en condiciones estandarizadas son sometidos a dosis crecientes del insecticida con el objetivo de poder realizar una curva de dosis de insecticida en función de la mortalidad de los individuos (Figura 5) (Santo, 2011).

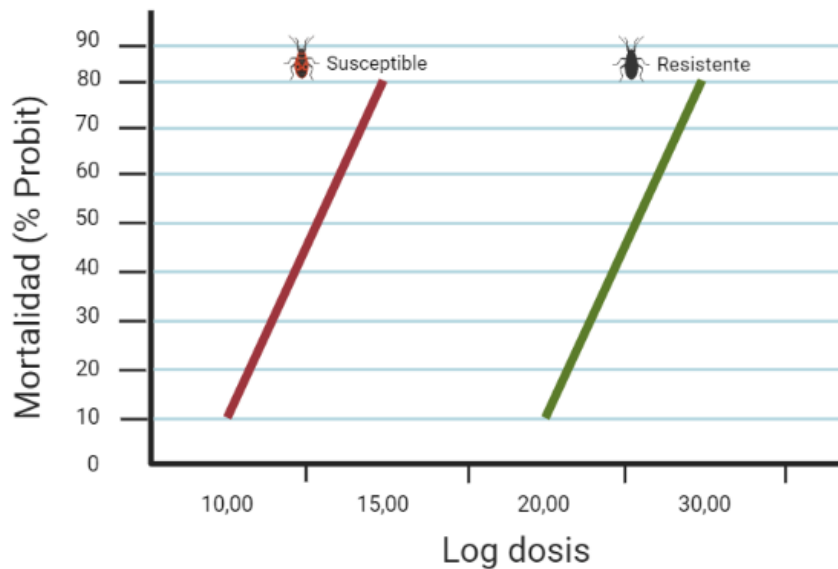


Figura 5. Gráfico de mortalidad en función de la dosis del insecticida (Santo, 2011).

Santo (2011), menciona que esta curva se puede utilizar para obtener los parámetros estadísticos de DL50 para la población susceptible y la población en estudio, a través del modelo de regresión Probit. Posteriormente, se utiliza la ecuación de factor de resistencia (Fr) (Araya *et al.*, 2003; Guzmán, 1997; Rosa, 1997) (Figura 6), que representa el valor por

el cual se debe multiplicar la dosis que produce una mortalidad definida en los insectos susceptibles, para producir la misma mortalidad en los individuos resistentes (Santo, 2011).

$$\text{Factor de Resistencia (Fr)} = \frac{\text{DL50 Población de Campo}}{\text{DL50 Cepas Susceptibles}}$$

Figura 6. Ecuación del Factor de Resistencia (Fr) (Rosa, 1997).

Los estudios realizados que han demostrado casos de resistencia, han permitido desarrollar diferentes grados de desarrollo de resistencia a plaguicidas con el objetivo de facilitar la comparación de investigaciones sobre el tema (Cuadro 1) (Rosas, 2004).

Cuadro 1. Niveles de desarrollo de resistencia a plaguicidas según el valor de factor de resistencia.

Índice	Niveles de desarrollo de resistencia	Fr
I	Pérdida de susceptibilidad	2 – 4
II	Resistencia incipiente	4,1 – 6
III	Resistencia desarrollada	6,1 – 10
IV	Resistencia severa	> 10,1

Análisis bioquímico. Se realiza en laboratorio y se analiza la actividad de diferentes tipos de enzimas que participan en el metabolismo de los compuestos de los insecticidas, ya que es uno de los mecanismos principales en las poblaciones que presentan resistencia. Por otro lado, en este análisis se evalúan los cambios que ocurren en la cutícula de los insectos, la que puede presentar transformaciones que generan la disminución de la permeabilidad de los productos sintéticos, resultando en la disminución del ingreso de estos al insecto (Santo, 2011).

Análisis molecular. Se utiliza la técnica de reacción en cadena (PCR) con el objetivo de analizar las posibles variaciones a nivel genético que codifican para las enzimas que participan en la degradación de insecticidas y para los receptores (sitios de acción) de los insecticidas (Santo, 2011).

Resistencia cruzada y múltiple

En general, la resistencia no se restringe solamente a un ingrediente activo o grupo químico de insecticidas, ya que varios mecanismos de resistencia generan un efecto sobre diferentes ingredientes activos con el mismo, o en algunos casos, diferente modo de acción. De igual manera, pueden existir diferentes mecanismos de resistencia al mismo tiempo y en un mismo individuo (Fuentes-Contreras, 2021).

Resistencia cruzada. Se define como el mecanismo por el cual un gen simple concede resistencia a varios plaguicidas del mismo grupo (Bisset, 2002) y a otros que no se han aplicado, pero poseen mecanismos de detoxificación o modos de acción semejante (Figura 7) (Badii y Garza, 2007).

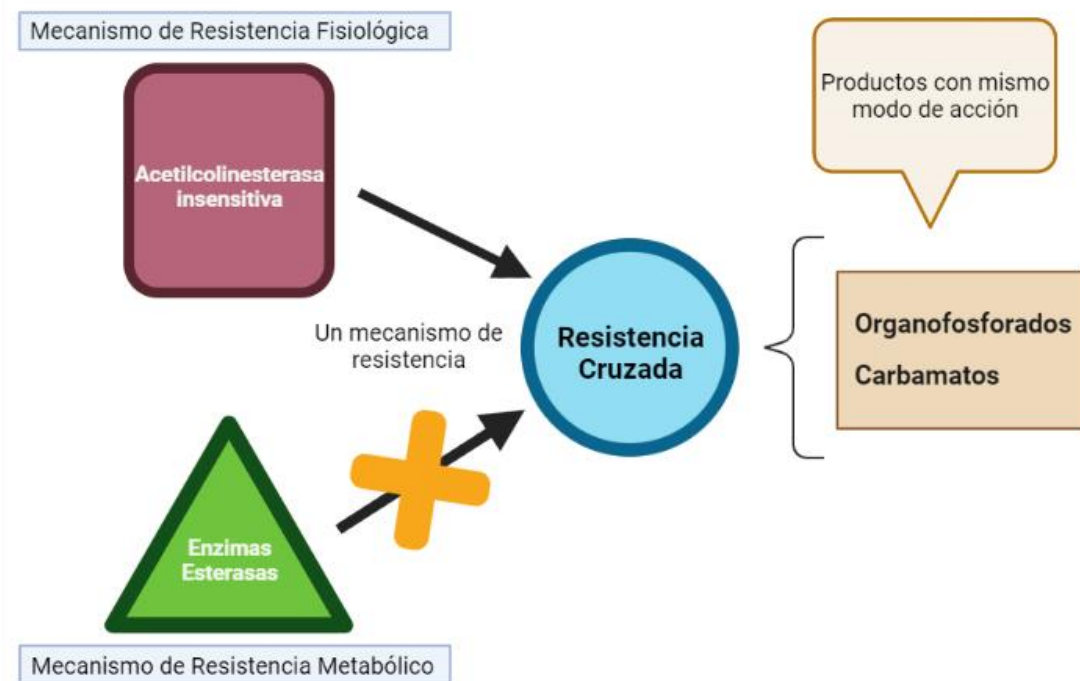


Figura 7. Representación de resistencia cruzada a plaguicidas.

Resistencia múltiple. Se refiere a cuando dos o más mecanismos de resistencia actúan en el mismo individuo (Bisset, 2002) y le confiere resistencia a un extenso rango de grupos de plaguicidas (Badii y Garza, 2007). El término de resistencia múltiple no necesariamente se asocia con el de resistencia cruzada, ya que un insecto puede ser resistente a un número de insecticidas y cada resistencia se puede asociar a diferentes mecanismos (Figura 8) (Bisset, 2002).

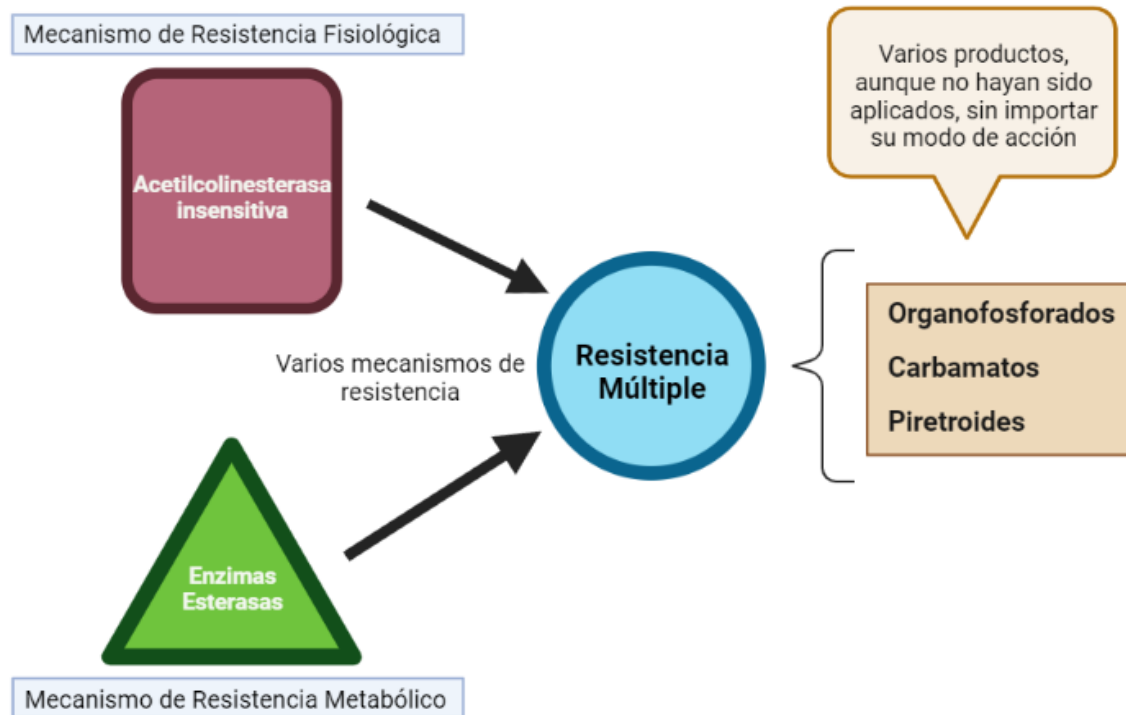


Figura 8. Representación resistencia múltiple a plaguicidas.

Manejo de la resistencia

El manejo de la resistencia tiene como objetivo preservar la efectividad de los plaguicidas y es calificado como un asunto de interés internacional, ya que constantemente existe intercambio de material vegetal entre países, lo cual favorece la propagación tanto de plagas como de genes de resistencia (Cloyd y Cowles, 2010).

A pesar de los avances realizados en el conocimiento de la genética, bioquímica y fisiología de la resistencia a plaguicidas, no ha ocurrido lo mismo con las prácticas que evitan o retrasan la evolución de esta problemática. Dado lo anterior, la oportunidad de disminuir la presión de selección con plaguicidas, ya sea utilizando otras prácticas no químicas como los enemigos naturales, variedades de plantas resistentes, patógenos de insectos, prácticas culturales, entre otras, genera nuevas esperanzas (Cermeli y Díaz, 2016).

Según Cloyd y Cowles (2010), la forma más efectiva para evitar el desarrollo de resistencia es la selección correcta y la aplicación precisa de un plaguicida, integrándolo con otras

estrategias básicas para el manejo de plagas. Por otro lado, la reducción de la presión de selección se puede lograr a través de aplicaciones de insecticidas sólo cuando sea necesario, evitar el uso de productos con efecto residual prolongado y los tratamientos que afectan al mismo tiempo a más de un estado de desarrollo de la plaga, entre otros. A su vez, el manejo de los insecticidas también tiene una función importante para mitigar el desarrollo de resistencia, por lo que se debe contemplar el monitoreo constante de las poblaciones con el fin de detectar lo antes posible cualquier indicio de resistencia, además de evitar el uso de mezclas de plaguicidas, y rotar los productos en base a la información que entreguen pruebas de susceptibilidad, de resistencia cruzada y múltiple, etc. (Cermeli y Díaz, 2016).

Dentro de las estrategias para el manejo de la resistencia a insecticidas se encuentra la reducción del uso de productos sintéticos. Se plantea que mientras más insecticidas se usen, mayor será la selección de resistencia y más rápido los insectos se volverán resistentes (Sternberg y Thomas, 2018). Es por esto que programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) pasan a tener un papel fundamental, ya que combinan una amplia gama de estrategias de control de plagas, tales como los métodos químicos, culturales, físicos, etológicos, genéticos y biológicos, con el objetivo de reducir las pérdidas económicas (Márquez, 2011), considerando la densidad de la plaga, época, presencia y participación de los enemigos naturales, umbral económico y época adecuada de aplicación, entre otras herramientas (Vargas *et al.*, 2008).

Otra estrategia para mitigar el desarrollo de resistencia es la variación en el uso de distintos insecticidas en el espacio y tiempo (Sternberg y Thomas, 2018), alternando productos sintéticos de acuerdo a su modo de acción. Además, es muy importante utilizar la dosis exacta que se recomienda en la etiqueta del producto y ocupar los equipos correspondientes para su aplicación, contemplando una correcta calibración que considere un volumen, presión y velocidad de aplicación adecuados (Vargas *et al.*, 2008).

Adicionalmente, el monitoreo de la resistencia es un factor relevante que debe ser considerado para la detección temprana de desarrollo de resistencia, el cual se realiza a través del seguimiento de los índices de pérdida de susceptibilidad (Vargas *et al.*, 2008).

Resistencia a insecticidas en Chile

En Chile, el sector agrícola ha experimentado un rápido crecimiento impulsado por las exportaciones y un aumento progresivo del sector de los plaguicidas. Hasta diciembre de 2020, existían más de 1300 productos fitosanitarios autorizados (insecticidas, fungicidas, herbicidas, entre otros), los cuales abarcaban más de 580 sustancias activas (Coria y Elgueta, 2022). El Servicio Agrícola y Ganadero (SAG, 2019) es la autoridad competente que evalúa y autoriza los plaguicidas de uso agrícola en el país, a través de ensayos y pruebas experimentales, con el objetivo de determinar el nivel de efectividad del producto químico y si es que representa un riesgo para la salud humana, animal y el medioambiente.

No obstante, la resistencia ha demostrado ser un obstáculo para lograr un manejo eficiente y posible de los programas de control de plagas agrícolas (Araya *et al.*, 2009). Los estudios sobre el desarrollo de resistencia a insecticidas de las plagas de la agricultura chilena han sido escasos y, frecuentemente, se considera que alcanzan un nivel descriptivo inicial. Por otro lado, el número de especies que se consideran resistentes en nuestro país es limitado y los estudios en mayor profundidad se han restringido a un número acotado de especies de la lista, ya sea considerando sus mecanismos y consecuencias a nivel poblacional (Fuentes-Contreras, 2021).

Estudios de resistencia en plagas de frutales

Hasta el momento se ha demostrado desarrollo de resistencia a insecticidas en cuatro plagas que afectan a los cultivos frutales en Chile. Las investigaciones destinadas a estas especies datan del año 1976 hasta el 2016 con un total de 10 estudios, de los cuales la mitad fueron destinados a *Cydia pomonella*. Por otro lado, si se mantiene al margen esta última especie, se puede ver un inquietante escenario, ya que la mayor parte de estos estudios fueron realizados antes del año 2000.

Chanchito blanco de la vid (*Pseudococcus affinis* Maskell).

Orden Hemíptera, Familia Pseudococcidae



Figura 9. Adultos de *P. affinis* en corteza de vid (Salazar *et al.*, 2010).

En Chile, además de atacar ciruelos y perales, es una plaga clave para uva de mesa, lo cual ha generado pérdidas económicas considerables a lo largo de los años. Esta especie puede completar 3 generaciones durante la temporada, siendo la segunda generación la que compromete la fruta, causando mayores estragos a nivel productivo (Sazo y Callejas, 1992).

Sazo y Callejas (1992), evaluaron el nivel de resistencia de diferentes poblaciones de *P. affinis* a compuestos organofosforados (paration, clorpirifos, diazinon y dimetoato) comúnmente utilizados en programas para el control de esta plaga en uva de mesa. En el caso de clorpirifos, diazinon y dimetoato, se observaron valores bajos y crecientes de CL50, y además manifestaron una tendencia a la homogeneidad entre las poblaciones estudiadas (comparadas con la población testigo), lo cual indica que presentaban un bajo nivel de resistencia. Por otro lado, a pesar de que paration presentó valores bajos y variables de CL50 y Fr, los resultados obtenidos en ese estudio demostraron un nivel de resistencia incipiente, pero aún baja para ese compuesto, lo cual se atribuye a la pérdida de efectividad debido a su uso reiterado a través del tiempo (Apéndice, Cuadro 1).

Esta especie, en particular, no tiene registros de estudios de resistencia a insecticidas en el ámbito internacional, ya que no existieron resultados de búsqueda en diferentes bases de datos. Estos antecedentes sugieren que se están utilizando otras estrategias de control para esta plaga y que no se basan únicamente en el uso de productos sintéticos.

Polilla de la manzana (*Cydia pomonella* Linnaeus).

Orden Lepidóptera, Familia Tortricidae



Figura 10. Adulto de *C. pomonella* (Salas *et al.*, 2021).

Es la principal plaga de pomáceas y nogales en Chile, siendo los insecticidas organofosforados una estrategia común para su control, lo cual ha generado el desarrollo de resistencia en varios países (Reyes *et al.*, 2004).

Un estudio realizado por Rodríguez (1999), evaluó la susceptibilidad a azinfosmetil de poblaciones de *C. pomonella* provenientes de tres huertos comerciales de nogales (Viluco, La Compañía y El Rosario), comparándolas con una población susceptible con el objetivo de determinar el grado de resistencia. Gracias a los resultados obtenidos (Apéndice, Cuadro 2), pudieron determinar que las tres poblaciones de huertos comerciales se encontraron en las primeras etapas de desarrollo de resistencia, ya que presentaron una tolerancia mayor respecto de la población susceptible, a pesar de que se consideraron niveles bajos de Fr. Por lo tanto, la falta de control en esos huertos se atribuyó a una deficiente aplicación del insecticida (mal cubrimiento, dosis bajas, etc.), y no por un aumento en los niveles de tolerancia de las poblaciones a azinfosmetil.

Reyes *et al.* (2004), evaluaron la presencia de algún nivel detectable de resistencia en diferentes poblaciones (Panguilemo, Teno y Molina), a azinfosmetil (organofosforado) y tebufenozida (benzidrazina), ya que eran productos ampliamente usados en el manejo de plagas del manzano en Chile. En cuanto a la eficiencia de los insecticidas, se observó que con azinfosmetil, la mortalidad de las larvas de Molina (30%) y Teno (85,4%), frente a la dosis de diagnóstico fue considerablemente menor a la población de laboratorio susceptible (95,6%) (Apéndice, Cuadro 3). Por otro lado, en tebufenozida se observó que sólo en

Molina, la mortalidad de las larvas fue estadísticamente diferente (35,1%). Dado lo anterior, se concluyó que las larvas en diapausa de *C. pomonella* colectadas en poblaciones de Molina y Teno presentaron baja susceptibilidad a estos insecticidas, lo que sugirió la presencia de niveles detectables de resistencia en algunas poblaciones de la región del Maule.

Una investigación realizada por Fuentes-Contreras *et al.* (2007), tuvo como objetivo abordar la presencia de resistencia a azinfosmetil en *C. pomonella* en manzanos de la zona central de Chile, a través de bioensayos en laboratorio en estadíos larvales neonatos y de post-diapausa. La concentración-mortalidad de las larvas neonatas de la población de laboratorio susceptible a azinfosmetil permitió establecer la CL50 (IC 95%) en un valor de 5,8 (5,2-6,4). Las larvas neonatas de las poblaciones en estudio demostraron altos niveles de mortalidad sin diferencias significativas en relación a la población susceptible (Apéndice, Cuadro 4).

Según los resultados expuestos, cuando las larvas neonatas fueron sometidas a una concentración diagnóstica de azinfosmetil, su mortalidad fue satisfactoria, lo que proporciona evidencia de que el nivel de resistencia a este producto sintético, en las poblaciones estudiadas, aún no había alcanzado el umbral para el fracaso en el control de campo. Sin embargo, gran parte de las poblaciones estudiadas, mostraron una mortalidad reducida de las larvas post-diapásicas sometidas al mismo tratamiento. Dados los antecedentes, se interpretó que la reducción de la mortalidad en este estadío (a pesar de que no es el estadío objetivo en las aplicaciones de insecticidas), puede representar una etapa temprana de desarrollo de resistencia a azinfosmetil, ya que se observó un caso similar con insecticidas como diflubenzuron y deltametrina (Fuentes-Contreras *et al.*, 2007).

Más adelante, Basoalto *et al.* (2011), realizaron un estudio que tuvo como objetivo evaluar la susceptibilidad de una población de *C. pomonella* proveniente de un huerto de manzano en la región de O'Higgins, frente a los productos de uso común, azinfosmetil, lambda-cihalotrina, metoxifenoza y tiacloprid. Obtuvieron valores de CL50 (mg kg⁻¹) de 3,722; 0,255; 2,816 y 4,332; respectivamente. Estos valores demostraron ser inferiores a los reportados en la literatura mundial, por lo que se pudo observar una alta susceptibilidad a estos productos sintéticos.

Posteriormente, Reyes *et al.* (2015), realizaron una investigación con el propósito de estudiar la eficacia de azinfosmetil, clorpirifos, esfenvalerato, metoxifenoza, tebufenoza y tiacloprid en larvas neonatas y post-diapásicas de seis poblaciones de *C. pomonella* de la zona central de Chile, y los principales mecanismos de resistencia asociados a esta plaga. Se observó que, las larvas neonatas eran susceptibles a todos los insecticidas estudiados. Sin embargo, las larvas post-diapásicas de cuatro poblaciones, eran resistentes a

clorpirifos, una población fue resistente a azinfosmetil y otra mostró una sensibilidad reducida a tebufenozida.

Para hacer un contraste de los avances a nivel internacional, se realizó una comparación en el número de estudios de resistencia realizados a nivel internacional y las investigaciones realizadas en Chile, en diferentes décadas (Cuadro 2). Gracias a lo anterior, es posible demostrar que, a pesar de que *C. pomonella* es una de las especies más estudiadas en Chile, el número de investigaciones es limitado.

Cuadro 2. Número de estudios de resistencia en *C. pomonella*, a nivel internacional y nacional, a través del tiempo.

Rango (años)	Número de estudios	
	Internacional	Chile
1970 – 1979	3	-
1980 – 1989	13	-
1990 – 1999	20	1
2000 – 2009	71	2
2010 – 2019	119	2
2020 – presente	28	-
Total	254	5

De los estudios internacionales, destaca el realizado por Ju *et al.* (2021), en el cual, recopilaron todos los casos internacionales de resistencia a insecticidas reportados en poblaciones de campo de *C. pomonella*, entre los años 1928 y 2020, con el objetivo de entender, intuitivamente, el estado global de esta resistencia. Gracias a esta recopilación, estos autores pudieron concluir que la resistencia es un problema creciente en el manejo de *C. pomonella* en todo el mundo y continúa siendo un tema de interés entre los investigadores.

En dicho estudio, se analizó la mortalidad de las poblaciones de campo expuestas a concentraciones de diagnóstico de diferentes grupos de insecticidas, con el objetivo de comprender de mejor manera el grado de resistencia en las poblaciones de campo globales (Figura 11). Al ser aplicada la dosis de diagnóstico, se observó una reducción de la mortalidad en más del 50% de las poblaciones de campo estudiadas contra los organofosforados, los neonicotinoides, las hidrazinas benzoilureas, piretroides, mímicos de la hormona juvenil (HJ) y carbamatos, lo cual es un indicador de que el desarrollo de resistencia por *C. pomonella* es un grave y creciente problema a nivel mundial (Ju *et al.*, 2021).

En la Figura 11, el histograma de color naranja indica que la tasa de mortalidad es menor al 30%, el color rojo que la tasa de mortalidad corresponde entre 30-60%, el de color verde oscuro representa un rango de 60-90% y el verde claro de 90-100% de la tasa de mortalidad (Ju *et al.*, 2021).

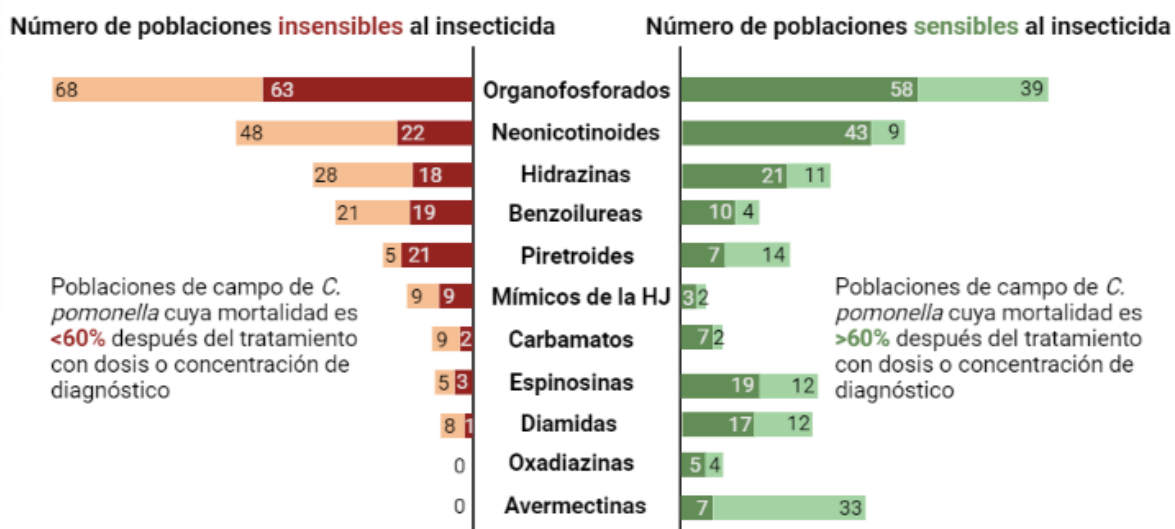


Figura 11. Susceptibilidad global de las poblaciones de campo de *C. pomonella* a dosis de diagnóstico de insecticidas (Ju *et al.*, 2021).

Arañita roja europea (*Panonychus ulmi* Koch).

Orden Acarina, Familia Tetranychidae



Figura 12. Hembra adulta *P. ulmi* (Núñez, 2005).

Es considerada una de las plagas más importantes en frutales de hoja caduca a nivel nacional, ya que genera un alto impacto productivo y resulta en altos costos de manejo (Sazo y Raffo, 1997).

Campos *et al.* (1976), realizaron una investigación que tuvo como objetivo determinar la resistencia a insecticidas en *P. ulmi* y comparar los niveles de toxicidad, sobre diversas poblaciones de esa plaga frente a tres productos (dicofol, carbofenotion y clordimeform) que eran utilizados, regularmente, en manzanos y perales de la zona central de Chile. Los resultados obtenidos demostraron una elevada tolerancia de las poblaciones de Teno y Quinta de Tilcoco a carbofenotion, ya que al comparar los valores de CL50, se obtuvo un valor de Fr considerable. Por otro lado, la respuesta a dicofol indicó una leve tolerancia en la población de Teno, donde el Fr es 1,6. En el caso de clordimeform, se observó la presencia de una resistencia definida en las poblaciones de Teno y Quinta de Tilcoco, ya que el valor de Fr fue de 4,88 y 3,53, respectivamente (Apéndice, Cuadro 5).

Posteriormente, Sazo y Gasic (1993), evaluaron la resistencia a dicofol y propargite, bajo condiciones de laboratorio, de la araña roja europea en poblaciones de huertos comerciales de manzano de la zona central de Chile, determinando el factor de resistencia (Fr) de cada población, a través del CL50 de la población en estudio y el CL50 de la población susceptible. En cuanto a la resistencia a dicofol se observó que la población de Lo Herrera fue más homogénea y sensible que el resto, no obstante, Graneros, Gultro y Requínoa demostraron menor homogeneidad que Lo Herrera y niveles de susceptibilidad variables. En cuanto a la respuesta de *P. ulmi* a propargite, los resultados obtenidos no permitieron establecer conclusiones, a pesar de que se dificulta el adecuado nivel de control en campo, ya que en Requínoa el ajuste de distribución normal en las pruebas de χ^2 no fue el adecuado (Apéndice, Cuadro 6).

En cuanto a los Fr, se observó un menor valor con dicofol que con propargite, lo cual está asociado al mayor uso de propargite en huertos de manzanos. Por lo tanto, las poblaciones de *P. ulmi* estudiadas presentaron menor nivel de resistencia a dicofol que a propargite, variando entre 2,4 a 9,4 y 4,9 a 38,7, respectivamente (Apéndice, Cuadro 7) (Sazo y Gasic, 1993).

Más adelante, Sazo y Raffo (1997), realizaron un estudio bajo condiciones de laboratorio, en el cual evaluaron el nivel de resistencia a clofentezina y hexithiazox de cuatro poblaciones de araña roja europea, provenientes de huertos comerciales de manzanos de la zona central de Chile. En el caso de clofentezina, las poblaciones estudiadas mostraron gran variabilidad en su respuesta, siendo Antumapu la que presentó mayor diferencia al ser comparada con el resto. Por otro lado, los tratamientos con hexithiazox demostraron tener menores valores, si se compara con clofentezina, siendo la población de El Edén la que

desarrolló menor resistencia al producto, a pesar de presentar un menor valor de CL50, en relación a las otras poblaciones (Apéndice, Cuadro 8).

Bajo las condiciones de estudio y de acuerdo a la metodología empleada en ese experimento, se concluyó que los huevos embrionados de arañita roja europea de las poblaciones El Edén, Parrot y Llallagua, presentaron un grado variable de resistencia a los inhibidores de la síntesis de quitina, clofentezina y hexithiazox, siendo el primero, el que presentó mayor nivel de resistencia (Sazo y Raffo, 1997).

Si se compara con los avances en el ámbito internacional, existe una gran ventaja por parte de las investigaciones realizadas en otros países. Actualmente, son pocos los estudios de resistencia relacionados a *P. ulmi*, en comparación a otras especies estudiadas. Sin embargo, el número de investigaciones realizadas en Chile demuestra la falta de conocimiento sobre la evolución de la resistencia detectada, anteriormente, en esta plaga (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de estudios de resistencia en *P. ulmi* a nivel internacional y nacional, a través del tiempo.

Rango (años)	Número de estudios	
	Internacional	Chile
1970 – 1979	4	1
1980 – 1989	13	-
1990 – 1999	18	2
2000 – 2009	19	-
2010 – 2019	16	-
2020 – presente	4	-
Total	74	3

Un estudio internacional desarrollado por Khajehali, Alavijeh, Ghadamyari y Marčić (2021), discutió el conocimiento actual de los mecanismos moleculares de la resistencia de *P. ulmi* a los acaricidas y lo que implican estos hallazgos, sobre el manejo de la resistencia. Ellos utilizaron la base de datos de resistencia a los plaguicidas en artrópodos (“Arthropod Pesticide Resistance Database” [APRD]), que es considerada como la base de datos más relevante en cuanto a la resistencia a los plaguicidas a nivel mundial. En esta base de datos, *P. ulmi* ocupa el segundo lugar entre los ácaros, con 203 casos notificados de resistencia para 47 compuestos.

La mayoría de los informes, se refieren a la resistencia a los organofosforados y a algunos acaricidas específicos más antiguos (dicofol y tetradifon), reportados durante los años sesenta y setenta, mientras que los informes más recientes, comprenden la resistencia a los piretroides, METI-acaricidas, abamectina, espiroclorfenol, entre otros (Apéndice, Cuadro 9) (Khajehali *et al.*, 2021).

Otras investigaciones internacionales, han descubierto 3 genes de citocromo P450 monooxigenasa, 41 genes de carboxilo/colinesterasas y 13 genes de glutatión-S-transferasas en poblaciones de *P. ulmi* resistentes a espiroclorfenol, a través de análisis de expresión diferencial de los genes que codifican las enzimas de detoxificación y activación. Por otro lado, en esta especie se han descubierto sustituciones aminoacídicas de sitios activos de acaricidas en poblaciones resistentes, tales como la sustitución F331W en la acetilcolinesterasa y la sustitución F1538I y L1024V en el canal de cloruro voltaje dependiente, estas últimas asociadas a fenpropatrina y fenvalerato (Khajehali *et al.*, 2021).

Escama de San José (*Diaspidiotus perniciosus* Comstock).

Orden Hemíptera, Familia Diaspididae



Figura 13. Hembra de *D. perniciosus*, desprendida de su escudo, individuo de la izquierda (Zúñiga, 2017).

Es una plaga que presenta gran relevancia en Chile, ya que se considera muy polífaga, atacando un gran número de especies frutales, ornamentales y arbóreas. Además, es considerada una plaga clave en varios cultivos debido a que se presenta cada temporada, teniendo amplia distribución, causando la muerte de los órganos afectados e incluso la muerte de la planta (Asiain, 2013). Esta especie inserta su estilete, produciendo halos en la fruta y causando su deformación a lo largo de su desarrollo (Estay, 2017). Los insecticidas

comúnmente utilizados para su control son aceites minerales y organofosforados (clorpirifos, diazinon y metidation). Sin embargo, existen argumentos en contra de los productos organofosforados, ya que poseen una creciente resistencia por parte de las especies objetivo (Asiain, 2013).

Cañas (2010), realizó un estudio que tuvo como objetivo determinar la susceptibilidad a clorpirifos de dos poblaciones de *D. perniciosus*, provenientes de huertos comerciales de manzano, comparándolas con una población proveniente de un huerto casero, sin uso de tratamientos. Según los resultados obtenidos (Apéndice, Cuadro 10), se observó que la CL50 de la población testigo fue menor que la de las poblaciones El Pretel y El Álamo, lo cual corrobora el menor grado de sensibilidad de las poblaciones comerciales a clorpirifos. Por otro lado, el valor de Fr para las poblaciones comerciales fue alto, lo cual confirma que existe un alto nivel de resistencia a este producto sintético.

Posteriormente, Buzzetti *et al.* (2016), evaluaron la susceptibilidad de *D. perniciosus* a clorpirifos y metidation, utilizando bioensayos de monitoreo de resistencia y pruebas bioquímicas. Se observó una clara resistencia cruzada entre estos insecticidas y las mediciones bioquímicas revelaron un papel de las esterasas en la atribución de la resistencia a los organofosforados, pero no de la acetilcolinesterasa modificada. A pesar de lo anterior, se sugirió que los resultados fueran confirmados por pruebas correlativas de más muestras en futuras investigaciones. Los resultados obtenidos en esta investigación descartan la presencia de resistencia cruzada a insecticidas de otros grupos químicos utilizados para su control. Sin embargo, ofrece pruebas consistentes para relacionar la resistencia cruzada entre los productos organofosforados.

A nivel internacional, el escenario frente a los estudios de resistencia de esta especie plaga, no presenta diferencias notables, en relación a los estudios realizados en Chile, debido a que, en general, se han destinado un número reducido de investigaciones (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de estudios de resistencia en *D. perniciosus*, a nivel internacional y nacional, a través del tiempo.

Rango (años)	Número de estudios	
	Internacional	Chile
1980 – 1989	2	-
1990 – 1999	-	-
2000 – 2009	-	-
2010 – 2019	1	2
2020 – presente	1	-
Total	4	2

Estudios de resistencia en plagas de hortalizas

Hasta la fecha, en Chile se ha detectado resistencia a insecticidas en cinco plagas relacionadas con hortalizas, de las cuales se han realizado un total de 7 investigaciones en un periodo de aproximadamente 20 años. Dentro de las especies en estudio, se han realizado 2 investigaciones en *Tuta absoluta* y *Plutella xylostella*, sin embargo, el resto de las especies solamente tienen una investigación al respecto.

Polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyrick).

Orden Lepidóptera, Familia Gelechiidae



Figura 14. Adulto de *T. absoluta* (Bierwirth, 2016).

Es una plaga clave en el tomate, la cual, sin un control oportuno, puede generar pérdidas económicas de hasta un 90%. En Chile, tradicionalmente, se han utilizado compuestos organofosforados y piretroides para su control, sin embargo, estos productos han generado una disminución en su efectividad, debido a la pérdida de susceptibilidad, por parte de esta plaga (Rifo, 2013). Al respecto, el uso de diferentes combinaciones de productos sintéticos y el aumento de las dosis de aplicación sería el detonante del desarrollo de la resistencia, por lo que se han ido incorporando nuevos ingredientes activos con distinto modo de acción, así como abamectinas, nereistoxinas y espinosinas. Sin embargo, ya existe registro de desarrollo de resistencia para estos productos en Brasil y Argentina (Gajardo, 2016).

Salazar (1996), realizó una investigación que tuvo como objetivo verificar y comparar la resistencia a ciertos insecticidas seleccionados, en poblaciones de *T. absoluta* obtenidas de diferentes localidades productoras de tomate en Chile. Se pudo demostrar que existían

niveles significativos de resistencia a deltametrina, esfenvalerato, lambda-cihalotrina, mevinfos y metamidofos (Apéndice, Cuadro 11). Además, se pudo concluir que a pesar de que los compuestos fosforados fueron más efectivos que los piretroides, las concentraciones recomendadas de cada producto fueron insuficientes para lograr un control adecuado de la plaga, lo cual corroboró un grado de resistencia a esos productos sintéticos.

En otro estudio, Rifo (2013), determinó la susceptibilidad de poblaciones chilenas de *T. absoluta* a cartap y abamectina, y su relación con tres sistemas de detoxificación enzimática en larvas de segundo estadio, de tres poblaciones de campo (Azapa, El Palqui y La Serena) y una población susceptible, que se usó como referencia. Se evaluó la mortalidad de los individuos y la actividad de las oxidasas de función mixta (OFM), glutatión-S-transferasas (GST) y esterasas. Los resultados de mortalidad de poblaciones de *T. absoluta* sometidas a dosis discriminantes de abamectina (20 mg kg^{-1}) y cartap (36 mg kg^{-1}), descartaron la presencia de resistencia a abamectina en las poblaciones estudiadas, ya que no existieron diferencias significativas respecto a la población de referencia. Sin embargo, los resultados obtenidos en cartap demostraron no ser los adecuados, ya que se observó una baja mortalidad en la población de referencia (55,7%). No obstante, pudieron observar la existencia de resistencia, únicamente, en la población de Azapa. Dado lo anterior, en ese estudio, se pudo dar a conocer que esos insecticidas aún resultaban ser eficientes para el control de *T. absoluta* (Apéndice, Cuadro 12).

En el ámbito internacional, la diferencia de estudios realizados en *T. absoluta*, en comparación a los que han sido realizados en Chile, es alarmante (Cuadro 5). Esto sugiere, la exigencia de nuevas investigaciones que evidencien la situación actual en Chile, de esta plaga y así, poder desarrollar las estrategias de manejo adecuadas.

Cuadro 5. Número de estudios de resistencia en *T. absoluta*, a nivel internacional y nacional, a través del tiempo.

Rango (años)	Número de estudios	
	Internacional	Chile
1980 – 1989	2	-
1990 – 1999	-	1
2000 – 2009	9	-
2010 – 2019	99	1
2020 – presente	50	-
Total	160	2

Se han desarrollado diversos estudios de resistencia a insecticidas en *T. absoluta*, teniendo en cuenta la importancia del manejo de la resistencia basada en la detección temprana y el

uso alternativo de insecticidas. İnak *et al.* (2021), realizaron ensayos en invernadero con clorantraniliprole, metaflumizona y espinosad, ya que han sido los insecticidas más utilizados en Turquía en el control de esta especie. Ellos observaron que espinosad mostró mayores tasas de mortalidad, seguido de clorantraniliprole y de metaflumizona, tanto en eficacia a corto como a largo plazo. Además, en las poblaciones estudiadas se encontró el mecanismo de resistencia de la acetilcolinesterasa insensitiva, gracias a la sustitución de alanina por serina en la posición 201 (A201S) de *ace-1*. Por otra parte, observaron que tres de las 22 poblaciones estudiadas contenían cinco mutaciones de resistencia juntas, lo que indicó la dificultad para elegir alternativas químicas de control en poblaciones con resistencia múltiple. Sin embargo, sugirieron el desarrollo de más estudios de seguimiento para aplicar de forma correcta las estrategias de manejo de resistencia a insecticidas.

Otra investigación, evaluó los niveles de resistencia a abamectina en nueve poblaciones de *T. absoluta* en Irán, en la cual se pudo demostrar una disminución de la susceptibilidad a la abamectina en todas las poblaciones analizadas, considerando el valor de CL95 más bajo (55,64 mg i.a. L⁻¹), mientras que la dosis recomendada era de 0,5 mL L⁻¹ (9 mg i.a. L⁻¹). Se pudo concluir que las poblaciones estudiadas fueron entre 1,92 y 25,25 veces más resistentes a la abamectina en comparación con la población de referencia de esa zona de Irán (Azizi y Khajehali, 2022).

Polilla de la col (*Plutella xylostella* Linnaeus).

Orden Lepidóptera, Familia Plutellidae



Figura 15. Adulto *P. xylostella* (Sistema Integral de Comunicación, 2020).

A nivel mundial corresponde a una de las plagas más importantes de los cultivos de las brásicas y su estrategia de control se ha basado en el uso de insecticidas para suprimir los

daños causados por este insecto. Sin embargo, el corto tiempo de generación y la intensa presión de selección por parte de los productos sintéticos, ha dado lugar al desarrollo de resistencia en varios tipos de insecticidas, lo cual ha dificultado su control (Jiang *et al.*, 2015).

En 1997, un estudio evaluó la susceptibilidad/resistencia de varias poblaciones de *P. xylostella* a insecticidas de amplia utilización en brassicáceas, tales como, deltametrina, metamidofos y endosulfan. Los resultados demostraron que, efectivamente, se generó resistencia a deltametrina y metamidofos en Quillota y Colina, siendo ambas poblaciones, parte de las regiones de mayor producción de repollo. En el caso de endosulfan, la mortalidad larvaria fue bastante alta en todas las poblaciones. Sin embargo, en Quillota y Colina, se observaron CL50 estadísticamente más altos que en la población testigo, lo cual podría corresponder a un nivel incipiente de desarrollo de resistencia cruzada para ese insecticida en particular (Apéndice, Cuadro 13) (Garrido *et al.*, 1997).

Esta información representa las consecuencias del uso intensivo de los insecticidas, para controlar esta y otras plagas relacionadas. La falta de conocimiento, por parte de los agricultores, sobre el ciclo de vida de un insecto plaga y el mal uso de productos sintéticos puede llegar a incurrir en aplicaciones excesivas y el empleo inadecuado de mezclas, lo cual favorece la resistencia (Garrido *et al.*, 1997).

Otro estudio, realizado por Rosa (1997), también evaluó el posible desarrollo de resistencia a deltametrina, metamidofos y endosulfan, en tres poblaciones de *P. xylostella* en poblaciones con antecedentes de aplicación de insecticidas (Apéndice, Cuadro 14). Se pudo concluir que en las zonas productoras de brásicas, cercanas a la región Metropolitana (Isla de Maipo y Curacaví), existió baja resistencia a deltametrina, al cual fue el único producto sintético que las poblaciones estudiadas desarrollaron, comparativamente, algún nivel de resistencia.

Plutella xylostella ha sido una especie ampliamente estudiada a nivel internacional y, en comparación a los estudios realizados en Chile, los avances e investigaciones sobre resistencia a insecticidas superan, considerablemente, la realidad en nuestro país, lo cual manifiesta el retraso frente a esta problemática (Cuadro 6).

Cuadro 6. Número de estudios de resistencia en *P. xylostella*, a nivel internacional y nacional, a través del tiempo.

Rango (años)	Número de estudios	
	Internacional	Chile
1970 – 1979	3	-
1980 – 1989	47	-
1990 – 1999	200	2
2000 – 2009	274	-
2010 – 2019	589	-
2020 – presente	230	-
Total	1343	2

El estudio del diagnóstico, basado en la genómica, ha podido predecir de forma fiable el desarrollo de la resistencia si se dispone de información sobre las mutaciones resistentes contra los principales insecticidas. Recientemente, se desarrolló un ensayo de viabilidad del diagnóstico, basado en la genómica de la resistencia a insecticidas en poblaciones de *P. xylostella* en Japón, para los principales insecticidas, incluyendo diamidas, piretroides, organofosforados y espinosinas. Los resultados del estudio demostraron predominancia de las mutaciones relacionadas con la resistencia a piretroides, organofosforados y diamidas (flubendiamida y clorantraniliprole), mientras que las mutaciones de ciantraniliprol (diamida) y las espinosinas fueron escasas, lo cual sugiere que siguen siendo eficaces. Los resultados obtenidos a través de esta técnica fueron, generalmente, concordantes con los resultados obtenidos de los bioensayos. Por lo que, se concluyó que este estudio es el primer paso en la futura gestión de la resistencia a insecticidas, en todas las plagas de importancia económica (Yamanaka *et al.*, 2022).

Cuncunilla verde del frejol (*Rachiplusia nu* Guenée).**Orden Lepidóptera, Familia Noctuidae**

Figura 16. Larva de *R. nu* (Agrofy News, 2022).

Las larvas de esta especie consumen las hojas de su hospedero primario (frejol), dejando perforaciones semicirculares características, las cuales se pueden producir como un nivel de daño variable (Rosas, 2004).

Araya *et al.* (2003), evaluaron la susceptibilidad en laboratorio de larvas de *R. nu* a deltametrina, endosulfan y metamidofos, a través de comparaciones de curvas de mortalidad de poblaciones colectadas en Quillota, Colina, Curacaví y La Pintana; siendo esta última, una población donde no se utilizaba insecticidas en leguminosas (Apéndice, Cuadro 15). Al obtener los resultados de esta investigación, se pudo observar que la población de Quillota fue la que presentó mayor susceptibilidad a los insecticidas estudiados, por lo que se estableció como población de referencia, descartando así la población de La Pintana.

En el caso de deltametrina, no existieron diferencias significativas en la susceptibilidad de las cuatro poblaciones de *R. nu* y, además, los factores de resistencia (Fr) fueron inferiores. Sin embargo, en Curacaví se observó una menor susceptibilidad, lo cual indicó que se debe seguir evaluando la respuesta a deltametrina y otros insecticidas, con el propósito de prevenir la aparición de resistencia a insecticidas de uso común. En el caso de endosulfan y metamidofos, aunque las diferencias significativas de susceptibilidad entre las poblaciones en estudio permitieron concluir que se encontraban una etapa incipiente de desarrollo de resistencia, las CL90 (excepto la de Colina) permitieron descartar niveles significativos de resistencia a esos insecticidas. Por lo tanto, a pesar de que los resultados indicaron algún

nivel de selección de resistencia a endosulfan y metamidofos en dichas poblaciones, se descartó el desarrollo de niveles generalizados de resistencia en esta plaga (Araya *et al.*, 2003).

Los estudios de resistencia a insecticidas, a nivel internacional, han sido limitados en *R. nu* (Cuadro 7). A pesar de lo anterior, se puede observar que, en comparación al único estudio realizado en Chile en el año 2003, la mayor parte de los estudios internacionales fueron realizados posterior al año 2010. Por lo tanto, pese a que son escasas las investigaciones, estas son de carácter reciente.

Cuadro 7. Número de estudios de resistencia en *R. nu*, a nivel internacional y nacional, a través del tiempo.

Rango (años)	Número de estudios	
	Internacional	Chile
2000 – 2009	1	1
2010 – 2019	3	-
2020 – presente	2	-
Total	6	1

Un estudio internacional realizado por Russo *et al.* (2012), evaluó la toxicidad de cuatro cianopiretroides y un no-cianopiretroide, aplicados de forma tópica o por exposición a filmes sobre papeles filtro, en larvas de tercer estadio de una población de campo y una colonia de laboratorio de *R. nu* en Argentina. Ellos pudieron concluir que, los valores que estimaron de Fr permitieron establecer que la población de campo de *R. nu* presentó resistencia moderada o baja a permetrina, cipermetrina y lambda-cihalotrina, cuando los productos fueron aplicados en forma tópica. En cambio, no se detectaron niveles de resistencia cuando se expusieron a filmes sobre papel filtro tratado. Por lo tanto, concluyeron que no existió correlación entre los valores de Fr obtenidos por ambos métodos. Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren que la población de campo, de esta plaga, presentó resistencia moderada a algunos piretroides y que la aplicación tópica es un método más apropiado que la exposición a filmes sobre papeles filtro para evaluar la resistencia a insecticidas.

Mosquita blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood).**Orden Hemiptera, Familia Aleyrodidae**

Figura 17. Adultos de *T. vaporariorum* (Portal Frutícola, 2016).

Esta especie, se ha considerado como una de las principales plagas de los cultivos hortícolas de invernadero, ya que su alimentación disminuye el rendimiento y calidad de los productos al secretar mielecilla, estimulando el desarrollo de fumagina en el cultivo (Rosas, 2004), reduciendo la capacidad fotosintética de las plantas y manchando los frutos (Vargas y Alvear, 1999).

Vargas y Alvear (1999), evaluaron la susceptibilidad de *T. vaporariorum* a metomilo, ya que este producto se consideraba de uso constante por los productores y estos reportaron fallas en el control en campo. Se colectaron cuatro poblaciones de mosquita blanca desde predios con ataques severos y difícil control (B), predios sin problemas de control (C y D), y se utilizó una población susceptible (A) criada en el Centro Nacional de Entomología. Las pruebas se basaron en la aplicación del ingrediente activo a una dosis establecida, sobre las caras internas de placas de Petri. Posteriormente, se introdujeron los insectos y se estimó el tiempo que demoraba metomilo en matar el 50 y 90 por ciento de los individuos (TL50 y TL90) (Figura 18).

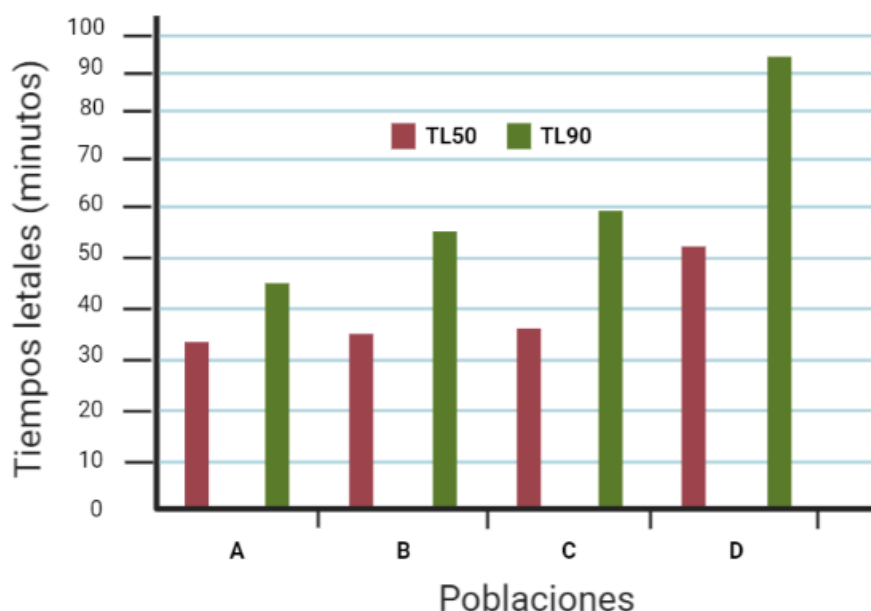


Figura 18. Tiempos letales 50 y 90 de poblaciones de mosquita blanca de los invernaderos. A: susceptible; B: predios con severos ataques y problemas de control; C y D: predios sin problemas de control aparente (análisis Probit). (Vargas y Alvear, 1999).

Se observó que la mortalidad en las mosquitas blancas susceptibles (A) fue en un tiempo menor, comparado con las poblaciones provenientes de campo (B, C y D), demostrando así, que han perdido susceptibilidad a este producto sintético, disminuyendo su efectividad en el control. Sumado a esto, se concluyó que la deficiente técnica de aplicación es un factor relevante para el control de plagas, lo cual se debe analizar en cada caso, antes de determinar la existencia de algún grado de resistencia (Vargas y Alvear, 1999).

En cuanto a la situación internacional, en esta especie se han realizado diversos estudios sobre resistencia a insecticidas, dejando en segundo plano el único aporte desarrollado en Chile, en el año 1999 (Cuadro 8). Por consiguiente, es apremiante la obtención de información actualizada para la futura toma de decisiones en Chile, frente a las estrategias de manejo de *T. vaporariorum*.

Cuadro 8. Número de estudios de resistencia en *T. vaporariorum*, a nivel internacional y nacional, a través del tiempo.

Rango (años)	Número de estudios	
	Internacional	Chile
1970 – 1979	4	-
1980 – 1989	6	-
1990 – 1999	17	1
2000 – 2009	28	-
2010 – 2019	64	-
2020 – presente	22	-
Total	141	1

En esta especie plaga, se ha demostrado que en entornos confinados, como los invernaderos, pueden desarrollar rápidamente resistencia a los insecticidas utilizados, incluyendo los piretroides y neonicotinoides. La resistencia a piretroides en *T. vaporariorum* fue reportada por primera vez en 1985 y en neonicotinoides en 2007 (Erdogan *et al.*, 2021).

Con el propósito de informar sobre las estrategias de manejo integrado de plagas y resistencia para *T. vaporariorum*, se investigó la incidencia de la resistencia a los piretroides y neonicotinoides, y sus posibles mecanismos de resistencia en Turquía. Los resultados demostraron que los factores de resistencia, contra los insecticidas neonicotinoides, fueron de hasta 8,10, 11,37 y 16,60, para acetamiprid, tiametoxam e imidacloprid, respectivamente. Estos resultados concuerdan con otros estudios realizados en Europa y China (2010), en los cuales alcanzaron valores de 22, 20 y 19, para imidacloprid, tiametoxam y acetamiprid, respectivamente. Además, se han desarrollado estudios similares en el norte de Grecia (2013) y en Finlandia (2014). Por lo tanto, los niveles de resistencia a neonicotinoides en el estudio desarrollado en Turquía concuerdan con los hallazgos anteriores, teniendo en cuenta el historial de uso de ese producto sintético en ese país (Erdogan *et al.*, 2021).

La resistencia a piretroides en *T. vaporariorum* ha sido más documentada. En Alemania (1986), se identificó resistencia de 113 a 7140 veces a permetrina, deltametrina, cipermetrina y fenpropatrina. En 2012, se descubrió una resistencia significativa a bifentrina, la cual fue atribuida a la insensibilidad del sitio activo, resultante de una sustitución aminoacídica en el canal de sodio, dependiente de voltaje (sitio activo de piretroides). Por lo tanto, variados estudios han demostrado un claro potencial de resistencia a piretroides en esta especie. Los resultados obtenidos en Turquía demostraron que, todas las poblaciones en estudio poseían resistencia a los piretroides cipermetrina y deltametrina. De esta manera, se demostró la compatibilidad con estudios anteriores y clara

evidencia de que los piretroides han sido utilizados durante más tiempo que los neonicotinoides (Erdogan *et al.*, 2021).

Además, los autores concluyeron que los resultados obtenidos en Turquía demostraron diferentes niveles de resistencia a algunos neonicotinoides y piretroides. Por lo tanto, recomendaron realizar más estudios para vigilar y revelar diferentes mecanismos de resistencia, como mutaciones en diferentes canales (sodio, AChE) y el citocromo P450, que estén relacionados con la pérdida de susceptibilidad de *T. vaporariorum*. Esto, con el objetivo de poder introducir productos sintéticos con otros modos de acción, junto con otras opciones de control, para salvaguardar la industria de producción de hortalizas (Erdogan *et al.*, 2021).

Polilla de la papa (*Phthorimaea operculella* Zeller).

Orden Lepidóptera, Familia Gelechiidae



Figura 19. Adulto de *P. operculella* (Reyes, 2017).

Es una de las plagas que causa mayores pérdidas a nivel global en el cultivo de la papa, dañando el follaje y tubérculos. El daño se produce tanto en campo como en almacenamiento y comercialización de los tubérculos, siendo el factor principal de pérdida (Rosas, 2004).

Una investigación realizada por Guzmán (1997), tuvo como objetivo verificar el desarrollo de resistencia a deltametrina, metamidofos, cyflutrina y clorhidrato de Cartap en larvas de *P. operculella* colectadas en La Serena, Calera de Tango, Malloco y Talagante, donde se

usaban insecticidas, y larvas de Colina y Talca, las cuales no habían sido expuestas a insecticidas sintéticos, por lo que se utilizaron como control.

Los resultados de este estudio (Apéndice, Cuadro 16) demostraron que las poblaciones evaluadas con deltametrina no presentaron resistencia al insecticida, ya que mostraron un comportamiento similar entre las poblaciones con uso de insecticidas y las poblaciones control. Por otro lado, en La Serena se detectó menor susceptibilidad a metamidofos, lo cual se debió al uso extensivo de este producto sintético, para controlar una amplia gama de plagas de diferentes cultivos en esa zona. Sin embargo, las larvas del resto de las poblaciones no presentaron resistencia a este compuesto, en comparación al control. A pesar de lo anterior, las CL90 indicaron altas concentraciones necesarias para el control de *P. operculella*, lo cual significa un mayor costo de control y la pérdida de susceptibilidad a metamidofos (Guzmán, 1997).

En el caso de cyflutrina, las poblaciones no mostraron diferencias significativas en CL50 y en la pendiente de respuesta, en comparación a la población control. Sin embargo, se aprecia algún grado de desarrollo de resistencia, ya que las CL90 presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las poblaciones. Al contrario, en el caso de clorhidrato de Cartap, ninguna de las poblaciones tratadas desarrolló resistencia al insecticida, debido a que este se utilizó recientemente en esas poblaciones, logrando un adecuado control de *P. operculella*, representando en ese momento una buena alternativa de control para esta plaga en cultivos comerciales (Guzmán, 1997).

Esta especie plaga no presenta gran variedad de estudios a nivel internacional, comparado a otras plagas mencionadas anteriormente. Sin embargo, las investigaciones realizadas son más recientes y superan en número a la única investigación realizada en Chile, en el año 1997 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Número de estudios de resistencia en *P. operculella*, a nivel internacional y nacional, a través del tiempo.

Rango (años)	Número de estudios	
	Internacional	Chile
1970 – 1979	2	-
1980 – 1989	4	-
1990 – 1999	4	1
2000 – 2009	12	-
2010 – 2019	8	-
2020 – presente	3	-
Total	33	1

Doğramacı y Tingey (2008), evaluaron la respuesta de una población de campo (Columbia) y una colonia de laboratorio (Colorado) a las dosis de tres insecticidas de uso común (esfenvalerato, metamidofos y fipronil). En este estudio se consideró a Colorado como población susceptible estándar, sin embargo, estos autores encontraron niveles de resistencia a las dosis marcadas en el campo a los tres insecticidas, a pesar de haber sido criada durante más de 30 años en aislamiento. Por otro lado, la población de Columbia también fue resistente a esfenvalerato y fipronil en dosis de campo; en cambio, con metamidofos tuvo 40% de susceptibilidad, lo cual fue considerado como relativamente susceptible. Los autores de este estudio pudieron concluir que los resultados obtenidos proporcionan información de referencia sobre la resistencia a insecticidas en *P. operculella*, indicando que la población de campo de Columbia fue altamente resistente a esfenvalerato y a fipronil. Sin embargo, se necesitan más estudios para detallar los mecanismos de resistencia contra otros insecticidas para el manejo de esta plaga en los cultivos de solanáceas.

Estudios de resistencia en plagas de hospederos frutales y hortalizas

En esta categoría existen sólo dos especies con registro en Chile de estudios en relación al desarrollo de resistencia a insecticidas, teniendo un total de 5 investigaciones entre el año 1976 y 2019. *Myzus persicae* es la especie más estudiada, con 3 estudios de susceptibilidad a productos sintéticos, mientras que para *Tetranychus urticae* existen sólo 2 investigaciones en un periodo de aproximadamente 30 años.

Pulgón verde del duraznero (*Myzus persicae* Sulzer).

Orden Hemiptera, Familia Aphididae



Figura 20. Adulto de *M. persicae* (Mercados, 2021).

Corresponde a una plaga ampliamente distribuida a nivel mundial y altamente polífaga, ya que es capaz de alternar entre su hospedero primario (*Prunus persica* L.) y diferentes hospederos secundarios que contemplan alrededor de 400 especies (Luna, 2008). Además, ha desarrollado resistencia a la mayoría de los plaguicidas que son utilizados para su control, ya sea grupos carbamatos, organofosforados, piretroides y neonicotinoides, siendo su forma de reproducción asexual la que influencia los niveles de resistencia (Rubiano-Rodríguez *et al.*, 2019).

Según Casals y Silva (2000), la resistencia en *M. persicae* estaba conferida por dos mecanismos que son el aumento de la esterasa 4 o FE4 y a una acetilcolinesterasa insensitiva. Posteriormente, se descubrió la mutación *rdl* del receptor GABA, asociada a los insecticidas organoclorados del tipo ciclodieno y los mecanismos de resistencia metabólica ligada a la sobre producción de esterases y citocromos P450 (Silva, 2011).

Parte de una investigación relacionada con esta especie, tuvo como objetivo, a través de reacciones de PCR, evaluar la presencia de mutaciones en el canal de sodio (*kdr* y *super kdr*) y la acetilcolinesterasa (MACE). Los resultados demostraron la presencia de los tres mecanismos de resistencia, ya sea de forma homocigota o heterocigota y se les atribuye a las aplicaciones de insecticidas piretroides, para el caso de *kdr* y *super kdr*; y carbamatos, para el caso de MACE. Por otro lado, a pesar de no ser evaluado en este estudio, los autores mencionan que las aplicaciones de neonicotinoides son asociadas a mutaciones en la subunidad beta del receptor nicotínico de la acetilcolina, en esta especie plaga. El uso intensivo de plaguicidas para el control del pulgón verde del duraznero genera una alta presión de selección, lo cual está directamente relacionado con la presencia de los mecanismos de resistencia evaluados en el estudio. Estos resultados reflejan la importancia de adoptar estrategias de manejo que eviten el desarrollo de mecanismos de resistencia, dentro de las cuales la rotación de productos sintéticos con diferentes modos de acción tiene un papel muy importante (Rubiano-Rodríguez *et al.*, 2019).

A nivel mundial, diversos estudios han demostrado que *M. persicae* ha desarrollado distintos grados de resistencia a diferentes insecticidas, lo que contribuye a dificultar el control de esta plaga. En Chile, sólo se han realizado 3 investigaciones relacionadas al tema, frente a más de 900 investigaciones en el ámbito internacional (Cuadro 10). Por lo tanto, la necesidad de información actualizada, en relación a la resistencia a insecticidas en *M. persicae*, es determinante para poder llevar a cabo un manejo adecuado de los productos sintéticos en Chile.

Cuadro 10. Número de estudios de resistencia en *M. persicae*, a nivel internacional y nacional, a través del tiempo.

Rango (años)	Número de estudios	
	Internacional	Chile
1970 – 1979	26	-
1980 – 1989	46	-
1990 – 1999	151	-
2000 – 2009	213	1
2010 – 2019	366	2
2020 – presente	136	-
Total	938	3

En China, esta especie ha desarrollado resistencia a beta-cipermetrina, cipermetrina, bifentrina, imidacloprid, acetamiprid, metomilo y ometoato. Otras investigaciones han descubierto que el receptor nicotínico de la acetilcolina (nAChR) de los insectos consta de cinco subunidades homólogas, y en el caso de *M. persicae*, se han aislado seis subunidades del nAChR, incluyendo las subunidades nAChR α 1-5 y nAChR β 1. Cada subunidad incluye un dominio extracelular N-terminal que contiene el sitio de unión al ligando y una secuencia característica de bucle Cys separada por 13 aminoácidos. En los insectos, los nAChR son el objetivo de varias clases de insecticidas, como los neonicotinoides, las espinosinas, las sulfoxaminas y los butenólidos (Xu *et al.*, 2022).

Estudios previos en Francia, encontraron la mutación de arginina a treonina (R81T) en la subunidad β 1 del receptor nicotínico de acetilcolina (nAChR) y fue considerado como un mecanismo crucial de adaptación a la resistencia a los neonicotinoides en *M. persicae*. Posteriormente, otra investigación demostró que todos los clones con la mutación R81T (genotipo 81TT) tenían una mayor resistencia al imidacloprid que otros clones, y el nivel de resistencia de los clones heterocigotos (81RT) era ligeramente superior al de los clones homocigotos salvajes (81RR) (Xu *et al.*, 2022).

En China, Xu *et al.* (2022), detectaron las mutaciones R81T y V101I en una población resistente de *M. persicae*, siendo la última mutación notificada por primera vez y asociada a la resistencia a los neonicotinoides. Se concluyó que estas mutaciones son capaces de generar resistencia, aunque no se sabe cuál de las dos mutaciones genera mayor impacto. El descubrimiento de la nueva mutación puntual, V101I proporciona información valiosa para futuras investigaciones.

Arañita bimaclada (*Tetranychus urticae* Koch).

Orden Acarina, Familia Tetranychidae



Figura 21. Estados adultos de *T. urticae* (Núñez, 2005).

Es una de las principales plagas agrícolas a nivel mundial, ya que ataca a más de mil especies de plantas y es considerada de difícil manejo. El método de control más común para esta especie consiste en el uso de acaricidas. Sin embargo, su corto ciclo de vida y su alta tasa de reproducción ha favorecido el desarrollo de resistencia a la mayor parte de los compuestos utilizados para su control. Además, es considerada como una de las especies de artrópodos que presenta la mayor cantidad de informes de resistencia a insecticidas a nivel mundial (Díaz-Arias *et al.*, 2019).

Campos *et al.* (1976), realizaron una investigación que tuvo como objetivo determinar la resistencia a acaricidas en *T. urticae* y comparar los niveles de toxicidad sobre diversas poblaciones de esa plaga, frente a tres productos (dicofol, carbofenotion y clordimeform) que eran utilizados, regularmente, en manzanos y perales de la zona central de Chile. Se pudo observar que, en el caso de carbofenotion, existió una diferencia significativa en el valor de CL50, entre la población de Quinta de Tilco y la población susceptible, siendo dos veces mayor en la primera. En el caso de dicofol, el valor de CL50 para la población susceptible es superior al propuesto en la literatura, por lo que se demuestra un alto grado de tolerancia de las poblaciones hacia dicofol. En el caso de clordimeform, se observa un valor significativo de Fr para la población de Lo Conty, lo cual se atribuye a la inclusión habitual de este producto sintético en los tratamientos de control de esta especie (Apéndice, Cuadro 17).

En 2007, se realizó otra investigación que tuvo como objetivo evaluar la susceptibilidad de *T. urticae* colectadas en *Primula obconica* Hance y *Convolvulus arvensis* L., a diferentes acaricidas. De acuerdo a los resultados obtenidos, se destacó el valor de CL50 obtenido por dicofol para la población colectada en *P. obconica*, ya que se consideró cercano al valor de una resistencia incipiente (1,83 g L⁻¹). En esta investigación, se concluyó que la población colectada en *P. obconica* era sensible a abamectina, azadirachtina, azufre, dicofol, fenazaquin y pyridaben (Apéndice, Cuadro 18) (Flores *et al.*, 2007).

Para *T. urticae*, se han realizado numerosas investigaciones en el mundo sobre los niveles de resistencia a acaricidas, al ser considerada como la especie de ácaro que presenta más casos reportados en la actualidad. Los estudios realizados en Chile son escasos, comparados a los que se han realizado a través de los años en otros países. No obstante, es urgente seguir investigando el desarrollo de resistencia en esta plaga, considerando que su impacto en la agricultura es de suma importancia (Cuadro 11).

Cuadro 11. Número de estudios de resistencia en *T. urticae*, a nivel internacional y nacional, a través del tiempo.

Rango (años)	Número de estudios	
	Internacional	Chile
1970 – 1979	13	1
1980 – 1989	35	-
1990 – 1999	56	-
2000 – 2009	101	1
2010 – 2019	247	-
2020 – presente	99	-
Total	551	2

En un estudio mexicano se evaluó el efecto de abamectina en el desarrollo de resistencia en *T. urticae*. El estudio consistió en la colecta de poblaciones de *T. urticae* con altos niveles de resistencia desde diferentes regiones de México en 2009. Estos niveles de resistencia se debían a que en un principio el control con abamectina fue efectivo, pero luego tuvieron que aumentar las dosis para reestablecer los niveles óptimos de control, lo cual generó un mayor número de casos en que falló la eficacia de este acaricida en el campo. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue determinar la respuesta a abamectina en cuatro poblaciones de campo y una susceptible. El resultado de esta investigación demostró que existe un alto nivel de resistencia a abamectina (Apéndice, Cuadro 19), por lo que se recomendó la implementación de otras alternativas de manejo contra la plaga en cuestión (Díaz-Arias *et al.*, 2019).

La detección temprana del desarrollo de resistencia en poblaciones de *T. urticae* es muy importante para llevar a cabo un método de control eficiente y, en la actualidad, se requiere de 24 a 72 horas de exposición al plaguicida para detectar el desarrollo de resistencia en laboratorio (IRAC, 2021). Es por eso, que se realizó otra investigación que tuvo como objetivo diseñar un método más rápido y confiable que el propuesto por IRAC, en el cual se evaluó la susceptibilidad a abamectina, acequinocilo, fenpropatrina, monolaurato de propilenglicol y bifenazate (Martínez-Huasanche *et al.*, 2021).

Este trabajo obtuvo resultados confiables en menos de 30 minutos para todos los acaricidas, excepto bifenazate que demoró 3,5 horas. Para la abamectina, la resistencia relativa (RR) de la población de campo, en relación con el grupo susceptible alcanzó valores de 13,993 (RR50) y 6,53 (RR95). Para bifenazate, se obtuvieron valores de 14,93 para RR50 y 12,93 para RR95. Para el resto de acaricidas se obtuvo valores de RR <10 (Apéndice, Cuadro 20) (Martínez-Huasanche *et al.*, 2021).

Estos resultados corroboran que *T. urticae* posee altos niveles de resistencia a abamectina, por lo que nuevamente se sugiere el uso de otro acaricida. En el caso de bifenazate y acequinocilo, los valores de RR50 y RR90 difieren entre ellos, lo que sugiere que los mecanismos de resistencia de la población de araña bimaclada son diferentes, a pesar de que ambos presentan el mismo modo de acción. Por otro lado, la resistencia contra el monolaurato de propilenglicol fue baja, lo que sugiere que este acaricida podría reemplazar a la abamectina (Martínez-Huasanche *et al.*, 2021).

Los productos sintéticos inhibidores de la succinato deshidrogenasa (SDH), como el cyflumetofen, cyenopyrafen y pyflubumide, son acaricidas selectivos capaces de controlar esta plaga. Sin embargo, el desarrollo de resistencia para SDH se ha investigado en un número limitado de poblaciones de *T. urticae* y se asocia a la detoxificación basada en el citocromo P450 y a mutaciones en el sitio activo, como I260 T/V en la subunidad B y S56L en la subunidad C de la SDH. Dado lo anterior, en 2022 se realizó una investigación que informó el descubrimiento de una sustitución H258Y en la subunidad B de la SDH en una población de *T. urticae* altamente resistente a pyflubumide. En dicho estudio se demostró que esta mutación da lugar a una resistencia cruzada entre cyenopyrafen y pyflubumide, pero se revelaron diferentes niveles de dominancia. Además, los ensayos de actividad *in vitro* y los estudios de acoplamiento, validaron la mutación de resistencia y proporcionaron una comprensión, más profunda, de las complejas interacciones entre el complejo II y los diferentes inhibidores de la SDH en ácaros (Njiru *et al.*, 2022).

En muchos casos, se recomienda la mezcla de diferentes productos sintéticos con el objetivo de asegurar el control o ampliar el espectro de acción a otras plagas. Sin embargo, para lograrlo es necesario que los insecticidas seleccionados sean efectivos y que tengan el

mismo periodo de persistencia en el ambiente. Además, se debe considerar que el uso de productos con el mismo modo de acción en una mezcla, incrementa la presión de selección de la plaga hacia ese grupo químico y hacia otros relacionados toxicológicamente. Por lo tanto, la estrategia para retrasar el desarrollo de resistencia es la alternancia de insecticidas de diferentes modos de acción (Avendaño-Meza *et al.*, 2015).

Análisis de los datos presentados

Los datos expuestos anteriormente, muestran un preocupante escenario en Chile, ya que en 46 años se han realizado 23 estudios de resistencia a insecticidas en 11 plagas de importancia económica (Cuadro 12). Cabe destacar que, en sólo cuatro especies, se han realizado investigaciones, posterior al año 2010, lo cual es considerado alarmante y evidencia el retraso, en comparación a estudios realizados en otros países (Cuadro 13).

Cuadro 12. Principales resultados obtenidos en estudios de resistencia a plaguicidas en Chile.

Especie	Resultados
<i>Pseudococcus affinis</i> Sazo y Callejas (1992)	Bajo nivel de resistencia a clorpirifos, diazinon y dimetoato. Nivel de resistencia incipiente a paration.
<i>Cydia pomonella</i> Rodríguez (1999)	Niveles bajos de desarrollo de resistencia a azinfosmetil.
<i>Cydia pomonella</i> Reyes <i>et al.</i> (2004)	Presencia de niveles detectables de resistencia a azinfosmetil y tebufenozida.
<i>Cydia pomonella</i> Fuentes-Contreras <i>et al.</i> (2007)	Mortalidad reducida en larvas post-diapásicas sometidas a azinfosmetil basada en la actividad de las enzimas glutatión-S-transferasas, representando etapa temprana de desarrollo de resistencia.
<i>Cydia pomonella</i> Basalto <i>et al.</i> (2011)	Se observó valores bajos de CL50, con respecto a la literatura internacional, demostrando alta susceptibilidad para azinfosmetil, lambda-cihalotrina, metoxifenoazida y tiacloprid.
<i>Cydia pomonella</i> Reyes <i>et al.</i> (2015)	Se observó resistencia incipiente en estadíos larvarios post-diapásicos a azinfosmetil, tebufenozida y clorpirifos.
<i>Panonychus ulmi</i> Campos <i>et al.</i> (1976)	Se demostró algún grado de resistencia a dicofol, carbofenotion y clordimeform.
<i>Panonychus ulmi</i> Sazo y Gasic (1993)	Las poblaciones en estudio presentaron menor nivel de resistencia a dicofol que a propargite, variando el valor de Fr entre 2,4 a 9,4 y 4,9 a 38,7; respectivamente.
<i>Panonychus ulmi</i> Sazo y Raffo (1997)	Huevos embrionados de <i>P. ulmi</i> presentaron resistencia variable a clofentezina y hexithiazox, siendo el primero el que tuvo mayor nivel de resistencia.
<i>Diaspidiotus perniciosus</i> Cañas (2010)	Existe un alto nivel de resistencia a clorpirifos.
<i>Diaspidiotus perniciosus</i> Buzzetti <i>et al.</i> (2016)	Se observó resistencia cruzada a clorpirifos y metidation.
<i>Tuta absoluta</i> Salazar (1996)	Existen niveles significativos de resistencia a deltametrina, esfenvalerato, lambda-cihalotrina, mevinfos y metamidofos.

(Continúa)

Cuadro 12. (Continuación)

Especie	Resultados
<i>Tuta absoluta</i> Rifo (2013)	Se descarta la presencia de resistencia a abamectina y se observó resistencia a cartap en una sola población en estudio (Azapa). Se concluye que estos insecticidas aún resultan ser eficientes para el control de <i>T. absoluta</i> .
<i>Plutella xylostella</i> Garrido <i>et al.</i> (1997)	Se demostró un nivel de resistencia a deltametrina y metamidofos. Además se observó la existencia de un nivel incipiente de desarrollo de resistencia a endosulfan.
<i>Plutella xylostella</i> Rosa (1997)	Se concluyó que existió un bajo nivel de resistencia a deltametrina.
<i>Rachiplusia nu</i> Araya <i>et al.</i> (2003)	Se descarta el desarrollo de niveles generalizados de resistencia, a pesar de que se observó una disminución de la susceptibilidad a deltametrina y una etapa incipiente de desarrollo de resistencia a endosulfan y metamidofos.
<i>Trialeurodes vaporariorum</i> Vargas y Alvear (1999)	Se demostró pérdida de susceptibilidad a metomilo.
<i>Phthorimaea operculella</i> Guzmán (1997)	Se detectó menor susceptibilidad a metamidofos y algún desarrollo de resistencia a cyflutrina.
<i>Myzus persicae</i> Casals y Silva (2000)	Detección de resistencia a dimetoato y fosfamidon conferida por dos mecanismos de resistencia que son el aumento de la esterasa 4 o FE4 y a una acetilcolinesterasa insensitiva.
<i>Myzus persicae</i> Silva (2011)	Mutación <i>rdl</i> del receptor GABA asociada a organoclorados del tipo ciclodieno. Mecanismo de resistencia metabólico asociado a sobreproducción de esterases y citocromo P450.
<i>Myzus persicae</i> Rubiano-Rodríguez <i>et al.</i> (2019)	Mutaciones en el canal de sodio (<i>kdr</i> y <i>super kdr</i>), asociados a insecticidas piretroides. Acetilcolinesterasa insensitiva (MACE), asociada a carbamatos. Mutación subunidad beta, del receptor nicotínico de la acetilcolina, asociada a neonicotinoides.
<i>Tetranychus urticae</i> Campos <i>et al.</i> (1976)	Se observó diferencias en la efectividad de dicofol, carbofenotion y clordimeform.
<i>Tetranychus urticae</i> Flores <i>et al.</i> (2007)	Se observaron diferencias de susceptibilidad con abamectina, azadirachtina, azufre, dicofol, fenazaquin y pyridaben.

Cuadro 13. Número de estudios de resistencia por especie, a nivel internacional y en Chile, a través del tiempo.

Especie	Rango (años)	Número de estudios	
		Internacional	Chile
<i>P. affinis</i>	1970 – 1979	-	-
	1980 – 1989	-	-
	1990 – 1999	-	1
	2000 – 2009	-	-
	2010 – 2019	-	-
	2020 – presente	-	-
<i>C. pomonella</i>	1970 – 1979	3	-
	1980 – 1989	13	-
	1990 – 1999	20	1
	2000 – 2009	71	2
	2010 – 2019	119	2
	2020 – presente	28	-
<i>P. ulmi</i>	1970 – 1979	4	1
	1980 – 1989	13	-
	1990 – 1999	18	2
	2000 – 2009	19	-
	2010 – 2019	16	-
	2020 – presente	4	-
<i>D. perniciosus</i>	1980 – 1989	2	-
	1990 – 1999	-	-
	2000 – 2009	-	-
	2010 – 2019	1	2
	2020 – presente	1	-
<i>T. absoluta</i>	1980 – 1989	2	-
	1990 – 1999	-	1
	2000 – 2009	9	-
	2010 – 2019	99	1
	2020 – presente	50	-
<i>P. xylostella</i>	1970 – 1979	3	-
	1980 – 1989	47	-
	1990 – 1999	200	2
	2000 – 2009	274	-
	2010 – 2019	589	-
	2020 – presente	230	-
<i>R. nu</i>	2000 – 2009	1	1
	2010 – 2019	3	-
	2020 – presente	2	-

(Continúa)

Cuadro 13. (Continuación)

Especie	Rango (años)	Número de estudios	
		Internacional	Chile
<i>T. vaporariorum</i>	1970 – 1979	4	-
	1980 – 1989	6	-
	1990 – 1999	17	1
	2000 – 2009	28	-
	2010 – 2019	64	-
	2020 – presente	22	-
<i>P. operculella</i>	1970 – 1979	2	-
	1980 – 1989	4	-
	1990 – 1999	4	1
	2000 – 2009	12	-
	2010 – 2019	8	-
	2020 – presente	3	-
<i>M. persicae</i>	1970 – 1979	26	-
	1980 – 1989	46	-
	1990 – 1999	151	-
	2000 – 2009	213	1
	2010 – 2019	366	2
	2020 – presente	136	-
<i>T. urticae</i>	1970 – 1979	13	1
	1980 – 1989	35	-
	1990 – 1999	56	-
	2000 – 2009	101	1
	2010 – 2019	247	-
	2020 – presente	99	-
Total		3504	23

Es evidente que en Chile existe una carencia de estudios sobre el desarrollo de resistencia a insecticidas, lo cual demuestra que no es posible establecer un panorama sobre la situación actual frente a esta problemática. A pesar de lo anterior, se siguen utilizando y comercializando productos sintéticos que favorecen la disminución de la susceptibilidad de estas plagas, y posiblemente de nuevas especies que no han sido estudiadas.

Coria y Elgueta (2022), analizaron datos y normativas que muestran la situación en Chile frente al uso de plaguicidas. Ellos observaron que el promedio de ventas de plaguicidas en el periodo 2011-2015, en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), fue de 0,93 kg ha⁻¹. En cambio, las ventas de plaguicidas en Chile correspondieron a 2,68 kg ha⁻¹ en ese mismo periodo, lo cual demuestra que el uso de productos sintéticos en Chile es bastante superior, en comparación a otros países. Por otra

parte, expusieron que el registro de plaguicidas SAG en el año 2021, comprendió más de 500 ingredientes activos y alrededor de 133 formulaciones nacionales.

El crecimiento progresivo de la agricultura nacional (16,4% de las exportaciones corresponden al sector agrícola), ha llevado consigo al aumento de las importaciones de plaguicidas en Chile. Esta alza se ha producido en un entorno no regulado, de libre venta y fácil acceso, acompañado de falta de conocimiento sobre el uso de productos sintéticos y su impacto en la salud humana y medio ambiente. Además, existen 28 ingredientes activos de plaguicidas prohibidos para su uso en Chile, incluyendo endosulfan, metamidofos y clorpirifos (productos sintéticos con antecedentes de resistencia en nuestro país) (Coria y Elgueta, 2022).

El Ministerio de Agricultura, a través de la Agencia Chilena de Inocuidad y Calidad Alimentaria (ACHIPIA), ha desarrollado el programa “Red de Información y Alertas Alimentarias (RIAL)”, con el objetivo de controlar el cumplimiento de los Límites de Residuos (LMR) de las frutas y hortalizas que se venden en el mercado nacional e internacional. El último informe de la RIAL en 2020 presentó los resultados de 1306 muestras de hortalizas frescas (407) y frutas (899) tomadas en 2018, destinadas al mercado chileno. Entre las muestras de hortalizas evaluadas, casi el 19% superó los LMR, mientras que casi el 9% contenía plaguicidas no autorizados. En Chile, en hortalizas para mercado interno, se han encontrado residuos de plaguicidas como metamidofos, linuron, clorotalonil, acetamiprid, ditiocarbamato, carbendazima, clorpirifos, ciflutrina y lambda-cihalotrina, entre otros. Al contrario, en el caso de las exportaciones agrícolas, se tiene un índice de cumplimiento de los LMR muy alto y sólo se utilizan plaguicidas aprobados. Por lo tanto, el hecho de que los altos niveles de residuos de plaguicidas se encuentren, principalmente, en los productos destinados al consumo interno, indica una falta de control y aplicación de la ley en Chile (Coria y Elgueta, 2022).

Por otro lado, estudios relacionados con la contaminación del agua por plaguicidas en Chile, revelan la presencia de productos sintéticos en las aguas superficiales de las zonas agrícolas del Valle Central, como por ejemplo, diazinon, clorpirifos, cihalotrina, cipermetrina, fenvalerato, triazina, etc. De modo que, la información existente demuestra la necesidad de un sistema de vigilancia para monitorear los residuos de plaguicidas en el agua y suelo, especialmente en las zonas agrícolas (Coria y Elgueta, 2022).

El aumento de la venta e importación de plaguicidas, el exceso de los LMR en productos destinados al mercado interno, el uso de plaguicidas no autorizados y la contaminación del agua por plaguicidas en Chile, son atribuidos a la intensificación de las actividades agrícolas, la falta de información, relacionada con los impactos potenciales de los productos

sintéticos en la salud humana y el medio ambiente, la falta de control y aplicación de la normativa vigente, y el bajo costo de los productos plaguicidas (Coria y Elgueta, 2022).

En Chile, se desconoce el impacto que ha generado el alza en el uso de productos sintéticos en las poblaciones plaga y, a pesar de tener escasos antecedentes sobre la pérdida de susceptibilidad a plaguicidas, en comparación a los avances a nivel internacional, se siguen aplicando grandes cantidades de estos productos a los cultivos. Por otra parte, existe una alta probabilidad de haber agravado la situación de resistencia a productos sintéticos a través de los años, ya que la mayor parte de los estudios realizados en Chile fueron hace más de 10 años.

CONCLUSIONES

Existen diferentes mecanismos de resistencia a insecticidas en insectos, clasificándose en metabólico, físico, fisiológico, de comportamiento y natural. Los mecanismos más importantes son el metabólico, que produce un aumento en la detoxificación del insecticida, degradando así el insecticida al interior de la plaga; y el mecanismo fisiológico, que modifica el sitio de acción del producto sintético, generando una insensibilidad por parte del insecto al compuesto en cuestión.

En Chile, existe escasa información sobre el desarrollo de resistencia a insecticidas, comprendiendo un total de 23 estudios para 11 plagas en 46 años. De las especies con detección de resistencia en nuestro país, es limitado el número de investigaciones actualizadas (después del año 2010) y es apremiante que se siga indagando sobre el tema, ya que es de importancia global y es evidente el atraso con respecto a los estudios en otros países sobre las mismas plagas afectadas.

El aumento de la actividad agrícola en el país, la falta de regulación en el comercio y uso de plaguicidas, el bajo costo de los productos sintéticos y la falta de información por parte de los agricultores, sobre el impacto que genera el uso desmedido de plaguicidas, es evidencia suficiente para establecer que la situación en Chile, frente al desarrollo de resistencia a insecticidas, ha empeorado a lo largo de los años y es necesario destinar recursos para futuras investigaciones al respecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrofy News. (2022). *Preocupa la presencia de isoca medidora en lotes de soja y destacan la importancia de monitorear*. Buenos Aires, Argentina: Agrofy News. Recuperado de <https://news.agrofy.com.ar/noticia/198052/preocupa-presencia-isoca-medidora-lotes-soja-y-destacan-importancia-monitorear/>
- Araya, J., Olave, C. y Guerrero, M. (2003). Susceptibilidad de la cuncunilla verde del fréjol, *Rachiplusia un* (Lepidoptera: Noctuidae), a insecticidas de uso común en Chile. *Boletín Técnico Sanidad Vegetal Plagas*, 29(199), 309-318.
- Araya, J., Rosas, S., Silva, G. y Rodríguez-Maciel, J. (2009). Revisión de los casos de resistencia a insecticidas y acaricidas reportados en Chile y sus métodos de detección. *Agro-Ciencia*, 25(2), 55-72.
- Asiain, E. (2013). Efecto de buprofezin, pyriproxifen y aceite mineral en postcosecha sobre escama de San José en manzano (Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Sanidad Vegetal). Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Avendaño-Meza, F., Parra-Terraza, S., Corrales-Madrid, J. y Sánchez-Peña, P. (2015). Resistencia a insecticidas en tres poblaciones de picudo del chile (*Anthonomus eugenii* Cano) en el estado de Sinaloa, México. *Fitosanidad*, 19(3), 193-199.
- Azizi, M. and Khajehali, J. (2022). Evaluation of resistance to abamectin in the populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), collected from Isfahan Province, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 24(2), 379-391.
- Badii, M. y Garza, V. (2007). Resistencia en insectos, plantas y microorganismos. *Cultura Científica y Tecnológica*, 4(18), 9.
- Basoalto, E., Barrios, J., Fuentes-Contreras, E., Barros, W., Devotto, L. y Moore, E. (Diciembre de 2011). Evaluación de la resistencia de la polilla de la manzana, *Cydia pomonella* (Lep.

- Tortricidae) a cuatro insecticidas en un huerto de manzano de la Región de O'Higgins. En Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Talca, Chile. *XXXIII Congreso Nacional de Entomología – I Congreso Sudamericano de Entomología*. Conferencia llevada a cabo en La Serena, Chile.
- Bierwirth, F. (2016). *INIA capacita a técnicos mexicanos para prevenir y combatir dañina plaga que afecta al tomate*. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Recuperado de <https://web.inia.cl/blog/2016/10/28/inia-capacita-a-tecnicos-mexicanos-para-prevenir-y-combatir-danina-plaga-que-afecta-al-tomate/>
- Bisset, J. (2002). Uso correcto de insecticidas: control de la resistencia. *Revista Cubana Medicina Tropical*, 54(3), 205.
- Buzzetti, K., Chorbadjian, R., Fuentes-Contreras, E., Gutiérrez, M., Ríos, J. and Nauen, R. (2016). Monitoring and mechanisms of organophosphate resistance in San José scale, *Diaspidiotus perniciosus* (Hemiptera: Diaspididae). *Journal of Applied Entomology*, 140(7), 507-516.
- Campos, L., Nordenflycht, A. y Charlín, R. (1976). Resistencia de *P. ulmi* (Koch) y *T. urticae* (Koch) a dicofol, carbophenotion y chlordimeform. *Investigación Agrícola*, 2, 115-119.
- Cañas, B. (2010). Detección de la resistencia de *Diaspidiotus perniciosus* a clorpirifos en frutales (Tesis Ingeniera Agrónoma). Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Casals, P. y Silva, G. (2000). Situación actual de susceptibilidad a insecticidas del pulgón verde del duraznero (*Myzus persicae*-Sulzer). *Revista frutícola*, 21(1), 5-10.
- Castañeda, L., Barrientos, K., Cortés, P., Figueroa, C., Fuentes-Contreras, E., Luna-Rudloff, M.,...Bacigalupe, L. (2011). Evaluating reproductive fitness and metabolic costs for insecticide resistance in *Myzus persicae* from Chile. *Physiological Entomology*, 36(3), 254.
- Cermeli, M. y Díaz, G. (2016). Control Químico de Insectos Plaga. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía.

- Cloyd, R. y Cowles, R. (2010). Manejo de Resistencia: Principios de Resistencia, Modo de Acción y Rotación de Insecticidas. *The Connecticut Agricultural Experiment Station*. 1-4.
- Coria, J. and Elgueta, S. (2022). Towards safer use of pesticides in Chile. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16), 22785-22797.
- Díaz-Arias, K., Rodríguez-Maciel, J., Lagunes-Tejeda, A., Aguilar-Medel, S., Tejeda-Reyes, M. and Silva-Aguayo, G. (2019). Resistance to abamectin in field population of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) associated with cut rose from state of México, México. *Florida Entomologist*, 102(2), 428-430.
- Doğramacı, M. and Tingey, W. (2008). Comparison of insecticide resistance in a North American field population and a laboratory colony of potato tuberworm (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Pest Science*, 81(1), 17-22.
- Erdogan, C., Velioglu, A., Gurkan, M., Denholm, I. and Moores, G. (2021). Detection of resistance to pyrethroid and neonicotinoid insecticides in the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westw) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Crop protection*, 146, 105661.
- Estay, P. (2017). Entomología-Plagas frutales: Escama San José. *Ficha Técnica INIA*, (98), 2.
- Flores, A., Silva, G., Tapia, M. y Casals, P. (2007). Susceptibilidad de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) colectada en *Primula obconica* Hance y *Convolvulus arvensis* L. a acaricidas. *Agricultura Técnica*, 67(2), 219-224.
- Fuentes-Contreras, E. (2021). Resistencia a insecticidas en el manejo de plagas: desde los genes hasta las poblaciones. *Centro de Ecología Molecular y Funcional en Agroecosistemas (CEMF), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca*. 5-15.
- Fuentes-Contreras, E., Reyes, M., Barros, W. and Sauphanor, B. (2007). Evaluation of azinphos-methyl resistance and activity of detoxifying enzymes in codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) from central Chile. *Journal of Economic Entomology*, 100(2), 551-556.

- Gajardo, S. (2016). Monografía sobre el estado del arte del control microbiológico de la polilla del tomate, *Tuta absoluta* (Meyrick)(Lepidoptera: Gelechiidae): microorganismos más utilizados y su efectividad (Tesis Ingeniero Agrónomo). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Garrido, C., Araya, J., Guerrero, M., Lamborot, L. y Curkovic, T. (1997). Estudios de susceptibilidad/resistencia de poblaciones de *Plutella xylostella* a deltametrina, metamidofos y endosulfan. *Investigación Agrícola*, 17(1-2), 69-77.
- Guzmán, M. (1997). Evaluación de resistencia a insecticidas en larvas de la polilla de la papa, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Tesis Ingeniera Agrónoma). Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- İnak, E., Özdemir, E., Atış, A., Zelyüt, F., İnak, A., Demir, Ü,... and Vontas, J. (2021). Population structure and insecticide resistance status of *Tuta absoluta* populations from Turkey. *Pest Management Science*, 77(10), 4741-4748.
- IRAC (Comité de Acción contra la Resistencia a Insecticidas). (2021). *Clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas*. Recuperado de <https://irac-online.org/documents/clasificacion-del-modo-de-accion-de-insecticidas-y-acaricidas-oct-2011/>.
- Jiang, T., Wu, S., Yang, T., Zhu, C. y Gao, C. (2015). Monitoring field populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) for resistance to eight insecticides in China. *Florida Entomologist*, 65-73.
- Jiménez, E. (2009). *Métodos de control de plagas*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Recuperado de <http://casadeinsecticidas.com/imgprod/Metodos%20para%20control%20de%20plagas.pdf/>.
- Ju, D., Mota-Sánchez, D., Fuentes-Contreras, E., Zhang, Y., Wang, X. and Yang, X. (2021). Insecticide resistance in the *Cydia pomonella* (L): Global status, mechanisms, and research directions. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 178, 104925.

- Khajehali, J., Alavijeh, E., Ghadamyari, M. and Marčić, D. (2021). Acaricide resistance in *Panonychus citri* and *P. ulmi* (Acari: Tetranychidae): Molecular mechanisms and management implications. *Systematic and Applied Acarology*, 26(8), 1526-1542.
- Luna, M. (2008). Resistencia a insecticidas y desempeño del áfido *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) (Sulzer) en la zona central de Chile (Tesis Grado de Licenciado de Ciencias Biológicas). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Márquez, J. (2011). *El manejo integrado de plagas*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/572719.pdf#page=217/>.
- Martínez-Huasanche, F., Rodríguez-Maciél, J., Santillán-Galicia, M., Lagunes-Tejeda, A., Rodríguez-Martínez, D., Toledo-Hernández, R.,...Silva-Aguayo, G. (2021). Rapid bioassay for detection of acaricide resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Entomological Science*, 56(2), 246-250.
- Mercados. (2021, 02 de diciembre). Como combatir la presencia del pulgón en los cultivos hortícolas. *Revista Mercados*. Recuperado de <https://revistamercados.com/como-combatir-la-presencia-del-pulgón-en-los-cultivos-hortícolas/>
- Mougabure, G. (2004). Caracterización de la resistencia a insecticidas piretroides en *Pediculus humanus capitis* De Geer 1778: estudio comparativo entre estados embrionarios y post-embrionarios (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Muñoz, M. (2011). Aspectos bioéticos en el control y aplicación de plaguicidas en Chile. *Acta bioethica*, 17(1), 95.
- Njiru, C., Saalwaechter, C., Gutbrod, O., Geibel, S., Wybouw, N. and Van Leeuwen, T. (2022). A H258Y mutation in subunit B of the succinate dehydrogenase complex of the spider mite *Tetranychus urticae* confers resistance to cyenopyrafen and pyflubumide, but likely reinforces cyflumetofen binding and toxicity. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 144, 103761.
- Núñez, D. (2005). Efecto de la temperatura en la capacidad depredadora de *Neoseiulus californicus* (McGregor) sobre tres especies de ácaros fitófagos en laboratorio (Memoria Ingeniero

Agrónomo, Mención Sanidad Vegetal). Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Oficina Sanitaria Panamericana. (1979). Resistencia de los vectores a los plaguicidas. [archivo PDF].
<https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/16091/v86n5p442.pdf?sequence=1&isAllowed=y/>.

Portal Frutícola. (2016). *Cómo reconocer a la mosquita blanca de los invernaderos*. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Recuperado de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/12/06/como-reconocer-a-la-mosquita-blanca-de-los-invernaderos/>

Reyes, C. (2017). *Palomilla de la papa – Phthorimaea operculella*. Sinaloa, México: Panorama Agropecuario. Recuperado en <https://panorama-agro.com/?p=2587/>

Reyes, M., Barros-Parada, W., Ramírez, C. and Fuentes-Contreras, E. (2015). Organophosphate resistance and its main mechanism in populations of Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) from Central Chile. *Journal of Economic Entomology*, 108(1), 277-285.

Reyes, M., Bouvier, J., Boivin, T., Fuentes-Contreras, E. y Sauphanor, B. (2004). Susceptibilidad a insecticidas y actividad enzimática de *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) proveniente de tres huertos de manzano de la Región del Maule, Chile. *Agricultura Técnica*, 64(3), 229-237.

Rifo, V. (2013). Actividad enzimática y susceptibilidad a cartap y abamectina en poblaciones de campo de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) (Memoria Ingeniero Agrónomo). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Rodríguez, P. (1999). Detección y evaluación de resistencia de *Cydia pomonella* (L.) a azinphosmethyl (Tesis Ingeniero Agrónomo, Mención Fruticultura). Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

- Rosa, M. (1997). Detección de resistencia de la polilla de la col a deltametrina, metamidofos y endosulfan (Tesis Ingeniera Agrónoma, Mención Fitotecnia). Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Rosas, S. (2004). Análisis de estudios sobre resistencia a plaguicidas en cultivos y frutales en Chile (Tesis Ingeniera Agrónoma). Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Rubiano-Rodríguez, J., Fuentes-Contreras, E. y Ramírez, C. (2019). Variabilidad genética neutral y presencia de mecanismos de resistencia en *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae), provenientes de diferentes hospedantes en Chile central. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(3), 612-630.
- Russo, R., Gamundi, J. and Alzogaray, R. (2012). Evaluation of pyrethroids toxicity in a laboratory strain and a field population of *Rachiplusia nu* (Lepidoptera: Noctuidae) using two bioassay techniques. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 71(1-2), 115-123.
- Salas, C. y Quiroz, C. (2016). Manejo integrado de plagas del nogal en la provincia de Choapa. *Boletín INIA Intihuasi*, (324), 21.
- Salas, C., Valenzuela, B., Jiménez, D., Ramírez, W. y Zúñiga, C. (2021, 16 de junio). Innovando en el monitoreo de la polilla de la manzana *Cydia pomonella*. *Revista Redagícola*. Recuperado de <https://www.redagricola.com/cl/innovando-en-el-monitoreo-de-la-polilla-de-la-manzana-cydia-pomonella/>
- Salazar, E. (1996). Resistencia a insecticidas organofosforados y piretroides de larvas de la polilla del tomate de Arica, Ovalle y diferentes localidades de la zona central (Tesis Ingeniera Agrónoma, Mención Fitotecnia). Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Salazar, P., Gerding, M., Luppichini, P., Ripa, R., Larraín, P., Zaviezo, T. y Larral, P. (2010). Biología, manejo y control de chanchitos blancos. *Boletín INIA*, (204), 25.
- Santo, P. (2011). Bioquímica de la resistencia a insecticidas en insectos vectores de enfermedades humanas. *Revista Farmacéutica Reviews*, 153(1-2), 71.

- Sazo, L. y Callejas, R. (1992). Determinación de resistencia del chanchito blanco de la vid *Pseudococcus affinis* (Maskell) a clorpirifos, diazinon, dimetoato y parathion en uva de mesa. *Investigación Agrícola*, 12(1-2), 27-31.
- Sazo, L. y Gasic, C. (1993). Detección de resistencia de araña roja europea *Panonychus ulmi* (Koch), a dicofol y propargite en manzanos bajo condiciones de laboratorio. *Investigación Agrícola*, 13(1-2), 39-42.
- Sazo, L. y Raffo, G. (1997). Resistencia de huevos de araña roja europea a clofentezina y hexithiazox en manzanos. *Investigación Agrícola*, 17(1-2), 35-39.
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2019). Declaración de ventas de plaguicidas de uso agrícola año 2019. [archivo PDF]. https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/declaracion_de_ventas_de_plaguicidas_ano_2019_0.pdf/.
- Silva, A. (2011). Evolución de la resistencia a insecticidas: Genómica funcional en el pulgón *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) (Tesis Doctoral). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Silva, G. (2000). Resistencia a los insecticidas. *Simposio Internacional Manejo Racional de Insecticidas*. Simposio llevado a cabo en la Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chillán, Chile. Recuperado de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/39907/NR28981.pdf?sequence=1&isAllowed=y/>.
- Sistema Integral de Comunicación (SIC). (2020). *Estudio regional sobre la respuesta de la polilla dorso de diamante (Lepidoptera: Plutellidae) a las dosis máximas de insecticida en Georgia y Florida*. México: Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Recuperado de <https://prod.senasica.gob.mx/ALERTAS/inicio/pages/single.php?noticia=4689#/>
- Sternberg, E. and Thomas, M. (2018). Insights from agricultura for the management of insecticide resistance in disease vectors. *Evolutionary applications*, 11(4), 405-406.

- Van Leeuwen, T., Dermauw, W., Mavridis, K. and Vontas, J. (2020). Significance and interpretation of molecular diagnostics for insecticide resistance management of agricultural pests. *Current Opinion in Insect Science*, 39, 69.
- Vargas, R. (1996). Resistencia a pesticidas de plagas agrícolas. *Tierra Adentro*, (8), 51.
- Vargas, R. y Alvear, A. (1999). Cultivos hortícolas en invernaderos: resistencia de la mosquita blanca a metomilo. *Tierra Adentro*, (27), 28-31.
- Vargas, R., Olivares, N. y Ubillo, A. (2008). Manejo Integrado de Resistencia (MIR) y selectividad de plaguicidas. *Documento técnico INIA La Cruz*, 80.
- Xu, X., Ding, Q., Wang, X., Wang, R., Ullah, F., Gao, X. and Song, D. (2022). V101I and R81T mutations in the nicotinic acetylcholine receptor $\beta 1$ subunit are associated with neonicotinoid resistance in *Myzus persicae*. *Pest Management Science*, 78(4), 1500-1507.
- Yamanaka, T., Kitabayashi, S., Jouraku, A., Kanamori, H., Kuwazaki, S. and Sudo, M. (2022). A feasibility trial of genomics-based diagnosis detecting insecticide resistance of the diamondback moth. *Pest Management Science*, 78(4), 1573-1581.
- Zhang, H., Chen, L. and Georgescu, P. (2007). Impulsive control strategies for pest management. *Journal of Biological Systems*, 15(02), 237.
- Zúñiga, H. (2017). Efecto del aceite mineral y vegetal sobre la fijación de la escama de San José *Diaspidiotus perniciosus* (Comstock), en nectarin variedad August Red (Memoria Ingeniera Agrónoma). Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

APÉNDICE

Cuadro 1. CL50, pendiente de la curva de mortalidad y factor de resistencia (Fr) de cinco poblaciones de *P. affinis* tratados con paration, clorpirifos, diazinon y dimetoato en laboratorio.

Insecticida	Población	CL50 (mL L ⁻¹)	Pendiente	Fr ¹
Paration	Testigo (Freirina)	0,1	1,96	-
	Ovalle	0,318	1,32	3,2
	San Felipe	0,214	1,33	2,1
	Calera de Tango	0,476	1,31	4,8
	Graneros	0,303	1,50	3,0
Clorpirifos	Testigo (Freirina)	0,037	1,38	-
	Ovalle	0,064	1,34	1,7
	San Felipe	0,087	0,97	2,3
	Calera de Tango	0,096	1,38	2,6
	Graneros	0,066	0,92	1,8
Diazinon	Testigo (Freirina)	0,029	1,40	-
	Ovalle	0,05	1,70	1,7
	San Felipe	0,062	1,42	2,1
	Calera de Tango	0,065	1,30	2,3
	Graneros	0,064	1,67	2,2
Dimetoato	Testigo (Freirina)	0,096	1,40	-
	Ovalle	0,241	2,01	2,5
	San Felipe	0,316	1,55	3,2
	Calera de Tango	0,356	1,65	3,7
	Graneros	0,288	1,45	3,0

¹/Factor de resistencia = CL50 población tratada/CL50 población susceptible.

Fuente. Sazo y Callejas, 1992.

Cuadro 2. CL50 y CL90 ($\mu\text{g polilla}^{-1}$), factores de resistencia (Fr) y pendiente (\pm desviación estándar) de las rectas de la regresión log(dosis)-mortalidad Probit para cinco poblaciones de *C. pomonella*.

Insecticida	Población	CL50 ¹	CL90 ¹	Fr ²	Pendiente \pm DE ¹
Azinfosmetil	P. Montt (Susceptible)	0,11 a	0,25 a	1,00	3,70 \pm 0,54 a
	La Pintana	0,15 b	0,31 a	1,33	4,10 \pm 0,48 a
	Viluco	0,20 b	0,39 a	1,75	4,34 \pm 0,67 a
	La Compañía	0,25 b	0,39 a	2,22	6,94 \pm 0,87 b
	El Rosario	0,26 b	0,44 a	2,26	5,59 \pm 0,83 a

¹/ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, respecto a la población susceptible, según prueba "t" de Student ($P \leq 0,05$).

²/ Factor de resistencia = CL50 población tratada/CL50 población susceptible.

Fuente. Rodríguez, 1999.

Cuadro 3. Susceptibilidad a concentraciones diagnósticas de insecticidas de larvas en diapausa de una población de laboratorio susceptible a insecticidas y tres poblaciones de campo de *C. pomonella*.

Insecticida	Población	Mortalidad corregida ^{1,2} (%)		
		Hembra ¹	Macho ¹	Total ¹
Azinfosmetil	Susceptible	90,86 a	97,87 a	95,61 a
	Panguilemo	100,00 a	100,00 a	100,00 a
	Teno	76,47 ab	94,15 a	85,35 b
	Molina	52,63 b	0,00 b	30,00 b
Tebufenozida	Susceptible	86,29 a	89,35 a	88,29 a
	Panguilemo	100,00 a	100,00 a	100,00 a
	Teno	100,00 a	82,46 a	91,21 a
	Molina	42,11 b	25,13 a	35,14 b

¹/ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, respecto a la población susceptible, según prueba de G ($P < 0,05$).

²/ Mortalidad corregida por fórmula de Abbot (1925).

Fuente. Reyes *et al.*, 2004.

Cuadro 4. Mortalidad corregida de larvas neonatas y post-diapásicas de *C. pomonella* provenientes de poblaciones de campo y una población susceptible a insecticidas, expuestos a una dosis diagnóstica de azinfosmetil en condiciones de laboratorio.

Insecticida	Población	Mortalidad total de larvas neonatas (%) ²	Mortalidad de larvas post-diapásicas (%)	
			Macho ^{1,2}	Hembra ^{1,2}
Azinfosmetil	P. susceptible	100 (20)	97,9 (65)	90,9 (35)
	Huerto abandonado			
	Gultro	90 (20)	66,7* (12)	78,6* (40)
	Molina	100 (20)	60,0* (40)	77,5* (40)
	Colín	100 (20)	27,3* (20)	45,5* (20)
	Pencahue	94,7 (20)	100 (32)	100 (29)
	Huerto manejado			
	San Fernando	90 (20)	61,8* (40)	63,0* (12)
	Teno	90 (20)	14,3* (35)	11,1* (9)
	Linares	100 (20)	75,0* (40)	79,0* (50)

^{1/} "*" en la misma columna indican diferencias significativas, respecto a la población susceptible, según prueba de chi-cuadrado ($P < 0,05$).

^{2/} Mortalidad corregida por fórmula de Abbot (1925). Número entre paréntesis corresponde al tamaño de la muestra (número de larvas tratadas con dosis de diagnóstico).

Fuente. Fuentes-Contreras *et al.*, 2007.

Cuadro 5. Valores de CL50, CL90, pendiente de la recta dosis-mortalidad y factor de resistencia (Fr) de 3 poblaciones de *P. ulmi*, La Granja, Teno y Quinta de Tilcoco, para tres acaricidas: carbofenotion, dicofol y clordimeform.

Acaricida	Población	Recuento mortalidad (h)	CL50 (mL L ⁻¹)	CL90 (mL L ⁻¹)	Pendiente	Fr ¹
Carbofenotion	La Granja	20	34,6	142	2,98	
	Teno	20	118	460	2,9	3,41
	Quinta de Tilcoco	20	150	600	2,92	4,3
Dicofol	La Granja	24	643	3550	3,77	
	Teno	24	1040	5850	3,81	1,6
	Quinta de Tilcoco	24	610	3400	3,78	0,94
Clordimeform	La Granja	20	70	410	3,94	
	Teno	20	50	2000	17,85	4,88
	Quinta de Tilcoco	20	35	1450	17,9	3,53

^{1/} Factor de resistencia = CL50 población tratada/CL50 población susceptible.

Fuente. Campos *et al.*, 1976.

Cuadro 6. CL50, pendiente (\pm desviación estándar) de las rectas correspondientes a las respuestas de cinco poblaciones de *P. ulmi* a dicofol y propargite, en hojas de manzano.

Acaricida	Población	CL50 (mL L ⁻¹)	Pendiente \pm DE
Dicofol	Lo Herrera	20,67	2,88 \pm 0,34
	La Pintana	49,21	2,14 \pm 0,46
	Gultro	102,28	1,72 \pm 0,51
	Requínoa	66,06	1,78 \pm 0,55
	Graneros	193,84	1,80 \pm 0,55
Propargite	Lo Herrera	34,29	2,37 \pm 0,42
	La Pintana	167,37	1,80 \pm 0,55
	Gultro	1325,43	1,93 \pm 0,51
	Requínoa	536,29	1,50 \pm 0,66
	Graneros	982,84	2,44 \pm 0,40

Fuente. Sazo y Gasic, 1993.

Cuadro 7. Factor de resistencia (Fr) de cuatro poblaciones de *P. ulmi* a dicofol y propargite en hojas de manzano, respecto de una población susceptible de Lo Herrera.

Acaricida	Población	Fr ¹
Dicofol	La Pintana	2,4
	Gultro	4,9
	Requínoa	3,2
	Graneros	9,4
Propargite	La Pintana	4,9
	Gultro	38,7
	Requínoa	15,6
	Graneros	28,7

¹/ Factor de resistencia = CL50 población tratada/CL50 población susceptible.

Fuente. Sazo y Gasic, 1993.

Cuadro 8. CL50, pendiente (\pm desviación estándar) de la recta mortalidad (Probit) vs log (concentración) de hexithiazox y clofentezina en huevos de *P. ulmi*, provenientes de cuatro poblaciones de huertos comerciales de manzanos.

Acaricida	Población	CL50 (mL L ⁻¹)	Pendiente \pm DE
Hexithiazox	Antumapu	2,9	1,21 \pm 0,083
	El Edén	178,8	0,38 \pm 0,036
	Parrot	242,7	0,46 \pm 0,035
	Llallagua	1694,2	0,46 \pm 0,034
Clofentezina	Antumapu	14,9	1,87 \pm 0,080
	El Edén	6550	0,59 \pm 0,026
	Parrot	2973	0,99 \pm 0,038
	Llallagua	4055	0,46 \pm 0,043

Fuente. Sazo y Raffo, 1997.

Cuadro 9. Reportes de la resistencia de *P. ulmi* a diferentes grupos de acaricidas, en función de sus modos de acción, según la clasificación del IRAC (2021).

Objetivos fisiológicos	Modo de acción primario	Grupo Químico	Número de casos	Número de compuestos
Sistema nervioso	Inhibidores de la Acetilcolinesterasa	Organofosforados y Carbamatos	113	22
	Moduladores de los canales de sodio	DDT y Piretroides	4	2
	Moduladores alostéricos de los canales de cloruro activados por glutamato	Avermectinas	8	1
	Agonistas de los receptores de octopamina	Formamidinas	4	2
Total de casos			129	27
Crecimiento y desarrollo	Inhibidores de crecimiento de ácaros	Clofentezina y Hexithiazox	5	2
	Inhibidores de la Acetil CoA carboxilasa	Derivados de los ácidos tetrónico y tetrámico	2	1
Total de casos			7	3
Sistema respiratorio	Inhibidores de la ATP sintasa mitocondrial	Organotinas y Tetradifon	15	3
	Desacopladores de la fosforilación oxidativa	Dinitrofenoles	3	1
	Inhibidores del transporte de electrones del complejo mitocondrial I	Acaricidas METI-I	8	2
Total de casos			26	6
Otros	Desconocido	Dicofol	18	1
	Desconocido	Otros compuestos	23	10
Total de casos			41	11

Fuente. Khajehali *et al.*, 2021.

Cuadro 10. Rango de concentración comercial evaluado (mL L⁻¹), CL50, factores de resistencia (Fr) y pendiente de las regresiones entre la Mortalidad Probit y el logaritmo de las concentraciones de clorpirifos, para tres poblaciones de *D. perniciosus*.

Insecticida	Huertos	Concentración (mL L ⁻¹)	CL50	Fr ¹	Pendiente
Clorpirifos	El Pretil	0,01875-2,4	0,912	32,34	0,80
	El Álamo	0,01875-2,4	0,708	25,10	0,89
	Huerto casero	0,01875-2,4	0,0282	1,00	1,77

1/ Factor de resistencia = CL50 población tratada/CL50 población susceptible.

Fuente. Cañas, 2010.

Cuadro 11. CL50 (mL p.c. L⁻¹) de larvas de dos tamaños de *T. absoluta* pertenecientes a cuatro poblaciones, tratados con cinco insecticidas.

Población	Insecticida	CL50 (mL L ⁻¹) según tamaño larval			
		Grandes ^{1,2}		Pequeñas ^{1,2}	
Ovalle	Deltametrina	84,262	a	40,463	b
	Esfenvalerato	22,353	a	9,144	b
	Lambda-cihalotrina	7,834	a	5,041	b
	Mevinfos	14,525	a	10,587	b
	Metamidofos	14,397	a	12,506	a
Quillota	Deltametrina	52,614	a	36,508	b
	Esfenvalerato	23,594	a	15,765	b
	Lambda-cihalotrina	11,002	a	2,293	b
	Mevinfos	7,038	a	5,891	a
	Metamidofos	16,023	a	13,388	a
Colina	Deltametrina	50,897	a	10,978	b
	Esfenvalerato	5,538	a	2,356	b
	Lambda-cihalotrina	1,750	a	0,874	b
	Mevinfos	5,029	a	4,540	a
	Metamidofos	14,574	a	5,502	b
Requínoa	Deltametrina	11,940	a	4,937	b
	Esfenvalerato	2,748	a	1,252	b
	Lambda-cihalotrina	0,955	a	0,498	b
	Mevinfos	2,663	a	2,242	a
	Metamidofos	4,181	a	3,398	a
Arica	Deltametrina	447,088	a	571,264	a
	Esfenvalerato	-		46,119	
	Lambda-cihalotrina	-		35,276	
	Mevinfos	35,837	a	21,446	b
	Metamidofos	24,208		-	

1/ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, respecto a la población susceptible (P<0,05).

2/ “-” indica que no hubo un satisfactorio ajuste Probit.

Fuente. Salazar, 1996.

Cuadro 12. Susceptibilidad a la concentración discriminante de abamectina y cartap de una población de laboratorio y tres poblaciones de campo de *T. absoluta*.

Insecticida	Población	N	Mortalidad corregida ^{1,2} (%)
Abamectina (20 mL L ⁻¹)	Susceptible	20	80,7 a
	Azapa	20	75,7 a
	El Palqui	20	80,7 a
	La Serena	20	75,7 a
Cartap (36 mL L ⁻¹)	Susceptible	20	55,7 a
	Azapa	20	25,7 b
	El Palqui	20	50,7 a
	La Serena	20	55,7 a

1/ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, respecto a la población susceptible, según prueba de G ($P < 0,05$).

2/ Mortalidad corregida por fórmula de Abbot (1925).

Fuente. Rifo, 2013.

Cuadro 13. CL50, pendiente (\pm desviación estándar) de las regresiones entre mortalidad Probit y el logaritmo de la dosis de deltametrina, metamidofos y endosulfan, y factores de resistencia (Fr) para cuatro poblaciones de *P. xylostella*.

Insecticida	Población	CL50 ¹ (mL L ⁻¹)	Pendiente \pm DE ¹	Fr ²
Deltametrina	Quillota	10,42 a	1,92 \pm 0,13 a	14,47
	Colina	5,53 b	1,56 \pm 0,13 ab	7,68
	Paine	2,09 c	1,61 \pm 0,16 ab	2,90
	La Pintana	0,72 c	1,26 \pm 0,17 b	1,00
Metamidofos	Colina	7,01 a	2,41 \pm 0,19 a	13,23
	Quillota	5,10 b	2,11 \pm 0,18 a	9,62
	Paine	0,71 c	1,61 \pm 0,41 a	1,34
	La Pintana	0,53 c	1,76 \pm 0,53 a	1,00
Endosulfan	Quillota	4,18 a	3,76 \pm 0,44 a	3,07
	Colina	2,92 b	2,74 \pm 0,35 a	2,15
	Paine	1,78 bc	1,89 \pm 0,35 a	1,31
	La Pintana	1,36 c	2,76 \pm 0,63 a	1,00

1/ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, respecto a la población susceptible, según pruebas de rango múltiple de Duncan (1955) ($P < 0,05$).

2/ Factor de resistencia = CL50 población tratada/CL50 población susceptible.

Fuente. Garrido *et al.*, 1997.

Cuadro 14. CL50, pendiente (\pm desviación estándar), factor de resistencia (Fr) de larvas de *P. xylostella* de cuatro poblaciones a deltametrina, endosulfan y metamidofos.

Insecticida	Población	CL50 ¹ (mL L ⁻¹)	Pendiente \pm DE ¹	Fr ²
Deltametrina	Curacaví	2,38 a	1,64 \pm 0,17 a	2,78
	Isla de Maipo	1,65 b	1,64 \pm 0,18 a	1,93
	Malloa	0,86 c	1,79 \pm 0,28 a	1,00
	La Pintana	0,86 c	1,89 \pm 0,23 a	1,00
Endosulfan	Curacaví	4,22 a	1,74 \pm 0,21 a	2,68
	Isla de Maipo	3,95 a	1,63 \pm 0,21 a	2,51
	Malloa	2,11 b	2,02 \pm 0,33 a	1,34
	La Pintana	1,57 b	2,07 \pm 0,42 a	1,00
Metamidofos	Isla de Maipo	2,98 a	1,20 \pm 0,15 b	3,42
	Curacaví	2,84 a	1,52 \pm 0,16 ab	3,26
	Malloa	1,28 b	1,12 \pm 0,18 b	1,47
	La Pintana	0,87 b	1,86 \pm 0,32 a	1,00

¹/ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, respecto a la población susceptible, según pruebas de rango múltiple de Duncan (1955) ($P < 0,05$).

²/ Factor de resistencia = CL50 población tratada/CL50 población susceptible.

Fuente. Rosa, 1997.

Cuadro 15. CL50, CL90, pendiente (\pm desviación estándar) y factor de resistencia (Fr) de cuatro poblaciones de *R. nu* a tres insecticidas.

Insecticida	Población	CL50 ¹	Pendiente \pm DE ¹	Fr ²	CL90
Deltametrina (mL L ⁻¹)	Curacaví	0,0065 a	3,20 \pm 0,33 a	2,10	0,0277
	La Pintana	0,0059 a	3,17 \pm 0,34 a	1,90	0,0149
	Colina	0,0051 a	2,63 \pm 0,33 a	1,60	0,0156
	Quillota	0,0032 a	2,41 \pm 0,37 a	<u>1,00</u>	0,011
Endosulfan (mL L ⁻¹)	Curacaví	1,875 a	4,04 \pm 0,36 ab	3,24	3,8901
	La Pintana	1,2293 b	5,09 \pm 0,37 a	2,06	2,1938
	Colina	1,0229 b	3,37 \pm 0,28 bc	1,76	2,4567
	Quillota	0,5871 c	1,68 \pm 0,16 c	<u>1,00</u>	3,3672
Metamidofos (mL L ⁻¹)	Curacaví	0,8464 a	2,97 \pm 0,28 a	6,50	2,3701
	La Pintana	0,603 a	3,64 \pm 0,29 a	4,50	1,3555
	Colina	0,2777 b	1,67 \pm 0,16 b	2,10	1,6305
	Quillota	0,1351 c	1,84 \pm 0,25 b	<u>1,00</u>	0,6716

¹/ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, respecto a la población susceptible, según pruebas de rango múltiple de Duncan (1955) ($P \leq 0,05$).

²/ Factor de resistencia = CL50 población tratada/CL50 población susceptible.

Fuente. Araya *et al.*, 2003.

Cuadro 16. CL50 (mL de i.a. L⁻¹), factores de resistencia (Fr), pendiente (\pm desviación estándar) de las regresiones lineales entre mortalidad Probit, logaritmos de la concentración y CL90 de tres poblaciones de *P. operculella* tratadas con deltametrina, metamidofos, cyflutrina y clorhidrato de Cartap.

Insecticida	Población	CL50 ¹ (mL L ⁻¹)	Fr ²	Pendiente \pm DE	CL90 ¹ (mL L ⁻¹)
Deltametrina (dosis comercial: 0,5 mL L ⁻¹)	La Serena	0,06 a	2,0	1,103 \pm 0,28	0,98 a
	Población con insecticida	0,05 a	1,7	1,126 \pm 0,32	0,89 a
	Población sin insecticida	0,03 a	1,0	0,929 \pm 0,31	1,08 a
Metamidofos (dosis comercial: 0,75 mL L ⁻¹)	La Serena	1,00 b	0,8	1,05 \pm 0,32	28,37 a
	Población con insecticida	1,40 a	1,2	1,53 \pm 0,33	10,26 a
	Población sin insecticida	1,20 ab	1,0	1,34 \pm 0,38	7,74 a
Cyflutrina (dosis comercial: 0,5 mL L ⁻¹)	La Serena	0,03 a	1,0	0,57 \pm 0,28	50,1 a
	Población con insecticida	0,13 a	4,3	0,80 \pm 0,29	9,6 ab
	Población sin insecticida	0,03 a	1,0	0,89 \pm 0,32	0,5 b
Clorhidrato de Cartap (dosis comercial: 1,0 mL L ⁻¹)	La Serena	1,14 a	1,02	1,70 \pm 0,43	5,81 a
	Población con insecticida	0,84 a	0,76	1,20 \pm 0,37	7,01 a
	Población sin insecticida	1,11 a	1,00	1,50 \pm 0,41	0,50 a

¹/ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, respecto a la población susceptible ($P \leq 0,05$).

²/ Factor de resistencia = CL50 población tratada/ CL50 población susceptible.

Fuente. Guzmán, 1997.

Cuadro 17. Valores de CL50, CL90, pendiente de la recta dosis-mortalidad y factor de resistencia (Fr) de 3 poblaciones de *T. urticae*, La Granja, Lo Conty y Quinta de Tilcoco, para tres acaricidas: carbofenotion, dicofol y clordimeform.

Acaricida	Población	Recuento mortalidad (h)	CL50 (mL L ⁻¹)	CL90 (mL L ⁻¹)	Pendiente	Fr ¹
Carbofenotion	La Granja (Susceptible)	24	122	430	2,68	1,27
	Lo Conty (Susceptible)	24	155	560	2,68	2,00
	Quinta de Tilcoco	24	254	925	2,8	2,12
Dicofol	La Granja (Susceptible)	48	1500	4800	2,46	
	Lo Conty	48	1690	5580	2,59	1,12
	Quinta de Tilcoco	48	1090	3420	2,45	0,72
Clordimeform	La Granja (Susceptible)	24	65	183	2,25	
	Lo Conty	24	91	260	2,25	1,4
	Quinta de Tilcoco	24	72	200	2,19	1,1

¹/ Factor de resistencia = CL50 población tratada/CL50 población susceptible.

Fuente. Campos *et al.*, 1976.

Cuadro 18. CL50 y CL90 para dos poblaciones de *T. urticae* Koch en laboratorio.

Tratamiento (mL L ⁻¹)	<i>Convolvulus arvensis</i> L.		<i>Primula obconica</i> Hance	
	CL50	CL90	CL50	CL90
Abamectina	1,28	4,70	1,42	2,93
Abamectina + fosfatidilcolina	2,55	4,92	2,54	4,10
Azadirachtina	15.793,10	2.457.100,0	1.785,3	131.592,0
Azufre	1.393,50	9.621.562,0	4.607,8	707.706,0
Dicofol	0,86	4,94	1,57	7,21
Fenazaquin	0,11	0,29	0,11	0,29
Pyridaben	1,14	3,46	1,30	5,91

Fuente. Flores *et al.*, 2007.

Cuadro 19. Susceptibilidad a la abamectina de poblaciones de *T. urticae* Koch recolectadas en Rosa cortada en el estado de México, México.

Acaricida	Población	CL50 (mL L ⁻¹)	Límites de confianza al 95% (CL 95%)
Abamectina	Susceptible	0,0012	(0,0008-0,0020)
	Villa Guerrero	3,40	(1,75-18,89)
	Tenancingo	6,45	(4,02-11,46)
	Coatepec Harinas	2,72	(0,54-18,68)
	Ixtapan de la Sal	25,37	(7,37-375,84)

Fuente. Díaz-Arias *et al.*, 2019.

Cuadro 20. Respuestas de dos poblaciones de *T. urticae* hembra adulta de 3 a 5 días de edad, a acaricidas.

Tiempo de exposición	Acaricida	CL50 (mL L ⁻¹)	Límites de confianza al 95% (CL 95%)
30 minutos	Abamectina	1237,0	(1,153-1,324)
	Acequinocyl	1989,0	(1,845-2,159)
	Fenpropatrina	6609,0	(6,180-7,091)
	Propileno glicol monolaurato	208,4	(167,8-261,6)
3,5 horas	Bifenazate	41,045	(38,722-43,488)

Fuente. Martínez-Huasanche *et al.*, 2021.