

Universitat de Lleida

## **Cydia pomonella (L.) (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE). Aspectos de su taxonomía, comportamiento y monitoreo aplicados a programas de control en grandes áreas**

Darío E. Fernández

Dipòsit Legal: L.1220-2012

<http://hdl.handle.net/10803/94521>

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

**WARNING.** Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.



Universitat de Lleida

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària

***Cydia pomonella* (L.) (LEPIDOPTERA:  
TORTRICIDAE). Aspectos de su  
taxonomía, comportamiento y  
monitoreo aplicados a programas de  
control en grandes áreas**

Memòria presentada per:

**Darío E. Fernández**

Per optar al grau de Doctor Ingenyero Agrònomo

Director: Jesús Avilla Hernández

Co-director: Manel Ribes i Dasi

Lleida, setembre 2012



La presente memoria, titulada '*Cydia pomonella* (L.) (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE). Aspectos de su taxonomía, comportamiento y monitoreo aplicados a programas de control en grandes áreas' es presentada por Darío E. Fernández, estudiante del departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal de la Universitat de Lleida, para optar al grado de Doctor. El trabajo experimental de esta tesis fue realizado en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle, Río Negro, Argentina, bajo la dirección del Dr. Jesús Avilla Hernández y del Dr. Manel Ribes i Dasi, quienes consideran que esta memoria reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Dr. Jesús Avilla Hernández  
Director de Tesis

Dr. Manel Ribes i Dasi  
Co-Director de Tesis

Ing. Agr. MSc. Darío E. Fernández  
Doctorando

Lleida, septiembre 2012



***A mis padres, por su sacrificio y apoyo permanente***  
***A Nicolás, que me inspira a intentar ser mejor cada día***  
***A Valeria, por los 20 años juntos, a la par***



## **AGRADECIMIENTOS**

*Nunca cuento el vuelto, siempre es de más... (F. Páez)*

Son muchas las personas a las que tengo que agradecer por su ayuda durante el proceso de elaboración de esta tesis, quienes de una u otra manera han colaborado en diferentes etapas de su desarrollo.

En primer lugar, a mis directores Jesús y Manel, por su confianza, dedicación y comprensión durante todos estos años. Su acompañamiento, no solo en el aspecto académico, me permitió sentirme como en casa a pesar de las distancias.

A la Universidad de Lleida, por aceptarme entre sus miembros y al IRTA.

Al INTA y sus autoridades por el financiamiento de los estudios en España y del trabajo de campo realizado en Argentina. A FUNBAPA y SENASA por su colaboración.

A mi familia, por su comprensión ante mis largas ausencias.

A Carlos Magdalena, por su constante apoyo y amistad.

A Jordi Cambray, mi amigo catalán. Compartimos quizá algunos de los momentos más difíciles de nuestras vidas, pero también muchas alegrías. Gracias por enseñarme a conocer y amar a Catalunya y especialmente por hacerme hinchita del Barça.

A Merixel y Roger por albergarme en un frío noviembre.

A Liliana Cichón.

A Susana Di Masi por su confianza y constante apoyo.

A Fernanda Menni por la paciencia y su invalorable colaboración.

A Marcelo Muñoz por su compromiso y ayuda permanente, a Roberto, Silvina, Demetrio, Sebastián y Franca en Argentina y a Dolors, María José, Marcela, Rosa, Montse y Daniel en Lleida.

A todos ellos y seguramente a muchos mas que he omitido sin querer, mi agradecimiento infinito...

### ***Instrucciones para elegir en un picado<sup>1</sup>***

*Cuando un grupo de amigos no enrolados en ningún equipo, se reúnen para jugar, tiene lugar una emocionante ceremonia destinada a establecer quiénes integrarán los dos bandos.*

*Generalmente dos jugadores se enfrentan en un sorteo o pisada<sup>2</sup> y luego cada uno de ellos elige alternadamente a cada uno de sus compañeros.*

*Se supone que los más diestros serán elegidos en los primeros turnos, quedando para el final los troncos<sup>3</sup>.*

*Pocos han reparado en el contenido dramático de estos lances. El hombre que está esperando ser elegido vive una situación que rara vez se da en la vida: sabrá de un modo brutal y exacto en qué medida lo aceptan o lo rechazan. Sin eufemismos, conocerá su verdadera posición en el grupo. A lo largo de los años, muchos futbolistas advierten su decadencia, conforme su elección sea cada vez más demorada.*

*Manuel Mandeb, que casi siempre oficiaba de elector, observó que sus decisiones no siempre recaían sobre los más hábiles. En un principio se creyó poseedor de vaya a saber qué sutilezas de orden técnico, que le hacían preferir compañeros que reunían... ciertas cualidades.*

*Pero un día comprendió que lo que en verdad deseaba, era jugar con sus amigos más queridos. Por eso elegía siempre a los que estaban más cerca de su corazón, aunque no fueran los más capaces.*

*El criterio de Mandeb parece apenas sentimental, pero es también estratégico: uno juega mejor con sus amigos. Ellos serán generosos, lo ayudarán, lo comprenderán, lo alentarán y lo perdonarán.*

*Un equipo de hombres (y mujeres) que se respetan y se quieren es invencible. Y si no lo es, más vale compartir la derrota con los amigos, que la victoria con los extraños o los indeseables.*

1. Picado: partido de fútbol informal entre amigos.
2. Pisada: método para determinar quién elige primero a sus compañeros en el que dos contrincantes se paran a una distancia prudencial y ponen un pie exactamente delante del otro, hasta que uno de ellos "pisa" el pie del rival. El que "pisa" elige primero.
3. Troncos: jugadores con escasa o nula habilidad para el juego.

Cuento extraído del libro "Crónicas del Ángel Gris". Autor: Alejandro Dolina.



## Resumen

La carpocapsa [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)] es una de las plagas principales de los frutales de pepita (peras, manzanas y membrillos) y nogales. Su control es crítico para lograr una producción sustentable y con calidad de exportación. La implementación de programas de control a nivel regional o de grandes áreas ha probado ser una estrategia altamente efectiva que permite lograr muy buenos resultados de control con bajos niveles de daño y una sustancial reducción en el uso de insecticidas. En estos programas, la colecta, registro y flujo de información para la toma de decisiones es un factor crítico, siendo necesario contar con metodologías confiables desde el punto de vista biológico y sustentables desde lo económico. El monitoreo de las poblaciones es un factor clave para determinar el riesgo de ataque de la carpocapsa y tomar decisiones de control. En este contexto se evaluaron diferentes aspectos de la taxonomía y el monitoreo de *C. pomonella*, como un carácter para la rápida diferenciación de machos y hembras, el comportamiento y eficacia de un nuevo atractivo para su monitoreo, el uso de la geoestadística y los sistemas de información geográfica para la interpretación y manejo de grandes cantidades de datos de captura en trampas, el efecto del viento en la distribución espacial de los adultos y finalmente, se propuso un sistema de vigilancia a nivel regional. Se determinó que la mancha negra presente en la parte inferior del primer par de alas de los machos de *C. pomonella* es un carácter sexual secundario confiable para la diferenciación de machos y hembras de la especie capturados en trampas que contienen cebos con cairomona. Las trampas cebadas con feromona mas cairomona, son mas atractivas para los machos y hembras de la carpocapsa que los cebos de cairomona sola y un 50% mas atractivas para los machos que los cebos con 1 o 10 mg de feromona, en áreas tratadas con la técnica de confusión sexual. La geoestadística puede ser una herramienta valiosa para evaluar la distribución espacial de la carpocapsa en éstos programas de control e implementar modelos que consideren la delimitación de zonas de riesgo para

el control de plagas. La actividad de vuelo de la carpocapsa durante el mes de noviembre (vuelo de la generación invernante) ocurre cuando la temperatura supera los 15°C y entre las 18:30 y las 02:00 h. No se detectó una influencia significativa del viento durante el período mencionado en la distribución espacial de la plaga, por lo que no se recomienda una distribución de las trampas con un distanciamiento diferencial según la dirección considerada. Se determinó que una grilla de 200 m entre trampas ofrece información confiable para los fines de vigilancia fitosanitaria, con una reducción cercana al 60% en el número de trampas respecto a la grilla actualmente en uso de 100 m. Esta grilla además permitirá la disminución del costo del sistema de vigilancia y monitoreo. En resumen, se evaluaron y desarrollaron metodologías y herramientas que facilitan y tornan más eficiente el monitoreo y el proceso de toma de decisiones en el control de *C. pomonella* en programas de grandes áreas tratadas con la técnica de la confusión sexual.

## Resum

La carpocapsa [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)] és una de les plagues més importants dels fruiters de llavor (pereres, pomeres i codonyers) i dels noguers. El seu control és crític per a assolir una producció sostenible i amb qualitat per a l'exportació. La implementació de programes de control d'abast regional de grans àrees ha demostrat ser una estratègia molt efectiva que permet assolir molt bons resultats de control amb nivell de danys baixos i una reducció important en l'ús d'insecticides. En aquests programes, la recollida, registre i flux de la informació per a la presa de decisions és un factor crític, essent necessari disposar de metodologies fiables des del punt de vista biològic i sostenible, des de l'econòmic. El recompte de les poblacions és un factor clau per a determinar el risc d'atac de la carpocapsa i prendre decisions de control. En aquest context s'avaluaren diferents aspectes de la taxonomia i el monitoreig de *C. pomonella*, com un caràcter per a la ràpida diferenciació entre mascles i femelles, el comportament i l'eficàcia d'un nou atraient per a l'estimació de les seves poblacions, l'ús de la geoestadística i els sistemes d'informació geogràfica per a la interpretació i el maneig de grans quantitats de dades de captura en trapes, l'efecte del vent en la distribució espacial dels adults i finalment, es proposa un sistema de vigilància d'abast nacional. un sistema de vigilància a nivel regional. Es determinà que la taca negra present en la part inferior del primer parell d'ales dels mascles de *C. pomonella* és un caràcter sexual secundari fiable per a la diferenciació de mascles i de femelles capturats en trapes esquerades amb cairomona. Les trapes esquerades amb feromona més cairomona, són més atractives pels mascles i les femelles de carpocapsa que els esquers de cairomona sola i un 50% més atractius pels mascles que els esquers de 1 o 10 mg de feromona, en àrees tractades amb la tècnica de confusió sexual. La geoestadística pot ser una eina valuosa per a avaluar la distribució espacial de carpocapsa en aquests programes de control i per a implementar models que considerin la delimitació de zones de risc pel control de plagues. L'activitat de vol de carpocapsa durant el mes de

novembre (vol de la generació hivernant) té lloc quan la temperatura supera els 15°C i entre les 18:30 i les 02:00 h. No es detectà una influència significativa del vent durant el període esmentat en la distribució espacial de la plaga, per la qual cosa no es recomana una distribució de les trampes amb una separació diferencial segons la direcció. Es determinà que una separació de 200 m entre trampes ofereix informació fiable per la finalitat de vigilància fitosanitària, amb una reducció propera al 60% en el nombre de trampes en relació a la separació de 100 m actualment en ús. Aquesta separació permetrà, a més, la disminució del cost del sistema de vigilància i monitoreig. En resum, s'avaluaren i desenvoluparen metodologies i eines que faciliten i tornen més eficient el monitoreig i el procés de presa de decisions en el control de *C. pomonella* en programes de grans àrees tractades amb la tècnica de confusió sexual.

## Abstract

The codling moth [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)] is one of the main pest attacking pome fruits (apples, pears, and quince) and walnuts. Its control is critical in order to obtain a sustainable production and exportable fresh fruit. The implementation of control strategies like area-wide programs has proven to be very effective, allowing for a substantial reduction on damaged fruits and on the use of insecticides. Collection, registration and delivery of the information needed for the decision-making process, is a critical factor in these programs, being necessary to use proved and reliable biological and economically sustainable methodologies. Population monitoring is a key factor in order to assess the risk of attack of the codling moth and to decide the application of a control measure. Under this scenario, different aspects of *C. pomonella* taxonomy and biology were evaluated as long with new analytical tools. Among them, a sexual character for the quick differentiation of sexes, the efficacy of a new lure, the use of geostatistical analysis and Geographical Information Systems aimed to the manage bulk data of trap capture, the effect of the wind on the spatial distribution of adults, and finally a proposal of a regional surveillance system for the pest. As a result it was found that the black spot in the inner side of the forewings of males of *C. pomonella* is a reliable character for the differentiation of the sexes when they are trapped with lures containing kairomone. Traps lured with codlemone plus kairomone were more attractive to males and females of the codling moth than lures with kairomone alone, and 50% more attractive for males than lures containing 1 or 10 mg of codlemone, when used in orchards permeated with pheromones as a control measure. Geostatistical analysis could be a very valuable tool in order to evaluate de spatial distribution of codling moth in area-wide programs and to implement control strategies with the delimitation of risk-areas of action. Adult flight activity during November (peak of overwinter generation flight) takes place when temperatures are above 15°C and from 18:30 to 2:00 h. No significant effect of the wind direction on the spatial

distribution of the pest was observed during this time of the year. In consequence, trap distance in different directions do not need to be modified. A grid with traps set at 200 m from each other, provides reliable information in order to keep an efficient phytosanitary surveillance program. The reduction of almost 60% of the number of traps used today, allows for a marked reduction of monitoring costs. In summary, several methodologies and tools were evaluated with the aim to make more simple and efficient the monitoring and control decision of *C. pomonella* in area-wide programs treated with mating disruption.

<b>Índice General</b>	<b>Pag.</b>
<b>1. Antecedentes.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Área de trabajo.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. Origen e historia de <i>Cydia pomonella</i> (L.).....</b>	<b>8</b>
<b>2.3. Ubicación taxonómica.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4. Morfología y caracteres taxonómicos.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.1 Breve descripción de los estados y estadios.....</b>	<b>13</b>
<b>2.5. Diferencias con otros lepidópteros de los agro-ecosistemas de huertos de pomáceas en Argentina..</b>	<b>17</b>
<b>2.5.1. Clave para la diferenciación rápida de <i>Cydia pomonella</i> (L.) de otras especies de lepidópteros presentes en los huertos frutales del Alto Valle de Río Negro y Neuquén.....</b>	<b>18</b>
<b>2.6. Sistema reproductivo de machos y hembras.....</b>	<b>20</b>
<b>2.7. Hospederos.....</b>	<b>22</b>
<b>2.8. Ciclo de vida (Bionomía) y desarrollo estacional (Fenología) de la carpocapsa.....</b>	<b>23</b>
<b>2.9. Inducción a la diapausa.....</b>	<b>36</b>
<b>2.10. Resistencia al frío.....</b>	<b>39</b>
<b>2.11. Monitoreo.....</b>	<b>40</b>
<b>2.12. Distribución espacial de los insectos.....</b>	<b>45</b>
<b>2.13. Geoestadística y Sistemas de Información Geográfica (SIG).....</b>	<b>47</b>
<b>2.13.1. Conceptos teóricos de geoestadística.....</b>	<b>50</b>
<b>2.13.2. Funciones aleatorias.....</b>	<b>51</b>
<b>2.13.3. El variograma.....</b>	<b>53</b>
<b>2.13.4. Interpolación.....</b>	<b>58</b>
<b>2.13.5. Metodología práctica para el análisis geoestadístico.....</b>	<b>61</b>
<b>2.14. Monitoreo de la carpocapsa en grandes áreas.....</b>	<b>62</b>

<b>3. Objetivos.....</b>	<b>65</b>
<b>3.1. Objetivo general (finalidad).....</b>	<b>67</b>
<b>3.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>67</b>
<b>3.2.1. Objetivo específico 1.....</b>	<b>67</b>
<b>3.2.2. Objetivo específico 2.....</b>	<b>67</b>
<b>3.2.3. Objetivo específico 3.....</b>	<b>67</b>
<b>3.2.4. Objetivo específico 4.....</b>	<b>67</b>
<b>3.2.5. Objetivo específico 5.....</b>	<b>67</b>
<b>4. Capítulo 1: A secondary sexual character for sex determination of <i>Cydia pomonella</i> (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) adults, trapped with kairomone lures.....</b>	<b>69</b>
<b>5. Capítulo 2: Comparison of lures loaded with codlemone and pear ester for capturing codling moths, <i>Cydia pomonella</i>, in apple and pear orchards using mating disruption.....</b>	<b>81</b>
<b>6. Capítulo 3: Comparison of different theoretical control strategies using <i>Cydia pomonella</i> (Lepidoptera: Tortricidae) trap data to decide insecticide applications in a mating disruption area-wide control program.....</b>	<b>107</b>
<b>7. Capítulo 4: A new device to monitor codling moth, [<i>Cydia pomonella</i> (L.)], flight activity .....</b>	<b>131</b>
<b>8. Capítulo 5: Wind effect on the distribution of <i>Cydia pomonella</i> (Lepidoptera: Tortricidae) trap captures in an area-wide mating disruption control program.....</b>	<b>149</b>
<b>9. Capítulo 6: Selección de una grilla de trampas para la implementación de un sistema de vigilancia y monitoreo de carpocapsa [<i>Cydia pomonella</i> (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)] en programas de control de grandes áreas.....</b>	<b>177</b>
<b>10. Discusión general.....</b>	<b>215</b>

<b>11. Conclusiones generales.....</b>	<b>235</b>
<b>12. Bibliografía general.....</b>	<b>239</b>



# **1. ANTECEDENTES**



La carpocapsa [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)] es la principal plaga de los frutales de pepita (peras, manzanas y membrillos) y nogales en la mayoría de las regiones donde se encuentran presentes estos cultivos. Las larvas realizan galerías al interior de los frutos, lo que implica un daño estético y de calidad que impide la venta en fresco de la fruta afectada, provocando pérdidas económicas tanto en la etapa de producción y empaque, como en la comercialización.

En los valles irrigados del norte de la Patagonia constituye una de las limitantes más importantes en la comercialización de frutas frescas de pepita para exportación. En el año 2002 el daño promedio provocado por la carpocapsa en la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén fue de 6,1%, depreciando el valor de más de 82.000 toneladas de fruta y provocando la pérdida de alrededor de 1.000 puestos de trabajo. Considerando los costos fiscales y el impacto sobre otras etapas de la cadena productiva, se estima que el déficit para la economía regional en ese momento, era superior a los U\$S 40 millones (Villarreal *et al.* 2003).

El control de la plaga durante este período se realizaba casi exclusivamente con insecticidas organofosforados, con un promedio de 11 a 12 aplicaciones por temporada. El uso de otras herramientas de control como la técnica de confusión sexual era muy limitado, cubriendo menos del 20% de la superficie productiva (Villarreal *et al.* 2010).

En la última década se ha registrado un sostenido cambio en el uso de agroquímicos para el control de la carpocapsa, propiciado por las limitaciones en el uso de insecticidas de amplio espectro, especialmente los organofosforados. Además, luego de más de 50 años de uso de estos últimos, se ha evidenciado un creciente problema de resistencia, que torna imperioso su reemplazo (Soleño *et al.* 2008, Rodríguez *et al.* 2010). También es necesario disminuir el número de aplicaciones de agroquímicos por sus efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana y, finalmente, el

uso de insecticidas tiene importantes implicancias a nivel comercial constituyéndose en la actualidad en una de las principales barreras para-arancelarias en el comercio de frutas frescas. Todas estas circunstancias hacen prioritaria la implementación de estrategias sustentables del control de plagas en los frutales de pepita y especialmente de su plaga clave, *C. pomonella*.

## **2. INTRODUCCIÓN**

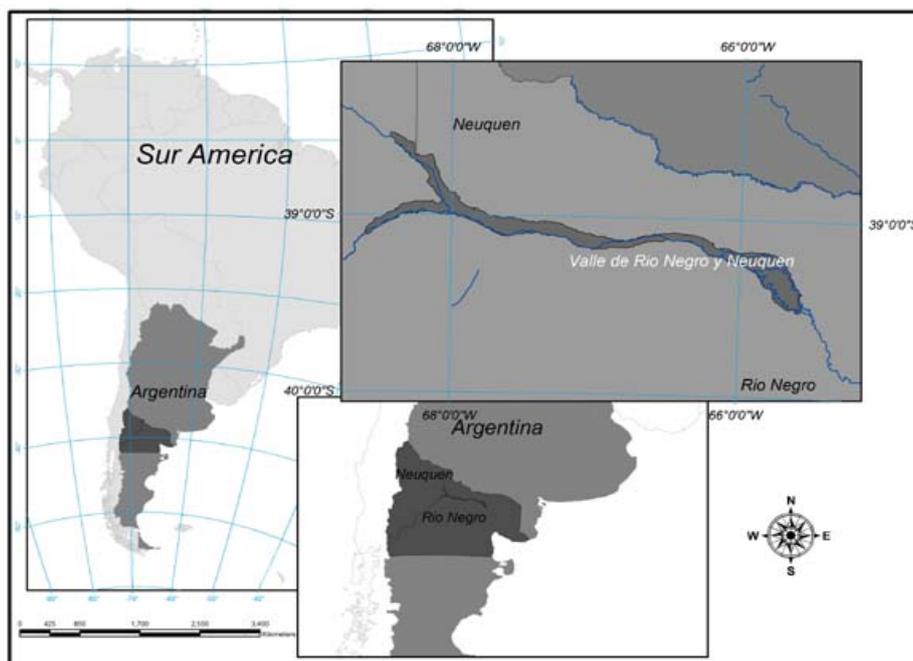


## 2.1. Área de trabajo

La región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén se encuentra ubicada al norte de la región patagónica, aproximadamente a los 39° de Latitud Sur y entre los 65 y 69° de Longitud Oeste (Fig. 1). El clima es árido a semiárido, con menos de 250 mm de precipitación anual, mezo termal, con lluvias deficientes durante todo el año (Región climática *Bwk* según Köppen). La temperatura media anual del área de estudio es de 15,5°C, con máximas medias que oscilan entre 13,4°C (junio) y 30,4°C (enero) y mínimas medias entre -0,7°C (julio) y 13,1°C (enero). Los valores extremos alcanzan su máximo en enero (38,7°C) y su mínimo en junio (-10,3°C). La amplitud térmica media anual es de 17,5°C. La velocidad promedio del viento es de 6,7 Km.h<sup>-1</sup>, alcanzando durante los meses de noviembre y diciembre, velocidades medias máximas de 15,1 y 13,2 Km.h<sup>-1</sup> respectivamente. La dirección del viento más frecuente durante la primavera es Oeste-Suroeste (Rodríguez y Muñoz 2006).

El área productiva comprende unas 100.000 ha bajo riego de las cuales 46.980 están cultivadas con frutales de pepita, distribuidas en alrededor de 3.400 explotaciones agrícolas (INTA 2007). Se produce anualmente 1.000.000 Tn de manzanas, las cuales se destinan en un 25% a mercados de exportación, 30% a mercado interno y 45% a la industria de jugos y sidras. La producción de peras alcanza las 700.000 Tn anuales, exportándose el 60%, lo que convierte a la Argentina en el primer exportador mundial de este cultivo, mientras que el 12% se destina a mercado interno y el 28% restante a la industria de jugos, licores, etc. (INTA 2007).

Las condiciones climáticas de la región con inviernos templado-fríos, veranos calurosos, escasez de lluvias y fuertes vientos, sumado a un relieve plano con una producción de frutales de pepita que constituye prácticamente un monocultivo, confieren características particulares al desarrollo estacional y la distribución espacial de *C. pomonella*.



**Figura 1.** Área de cultivo de frutales de pepita en el norte de la Patagonia y su ubicación relativa en América del Sur y Argentina.

## 2.2. Origen e historia de *Cydia pomonella* (L.)

La carpocapsa se considera que es originaria de Eurasia, al igual que su hospedero principal, el manzano (*Malus domestica* Borkh). Conjuntamente con este cultivo y otras pomáceas, se distribuyó primero hacia el resto de Europa, Asia y posteriormente América, África y Oceanía (Shel'Deshova 1967).

Los primeros registros de este insecto se remontan a los escritos de Theophrastus en el año 371 antes de Cristo. Cato, el gran orador de la antigua Roma, hablaba de “manzanas abichadas” en su tratado de agricultura escrito cerca de 200 años AC (Slingerland 1898, citado por

<http://www.ippc.orst.edu>). Sin embargo, no es hasta finales del siglo XIX que comienza a aparecer en forma consistente en la literatura científica.



**Figura 2.** Distribución mundial de la carpocapsa (modificado de <http://www.ippc.orst.edu>)

En la actualidad es un insecto cosmopolita presente prácticamente en todos los lugares donde se cultivan sus huéspedes (manzanos, perales, membrilleros y nogales) en los cinco continentes y en ambos hemisferios (Fig. 2), limitada principalmente por la presencia de hospederos y la acumulación de un mínimo de 600 días-grado por encima del umbral de 10°C (Shel'Desova 1967). Sin embargo, existen lugares donde aun no se ha instalado como Japón, Corea, algunas regiones de China y debido a severas tareas de sanitización y un estricto control cuarentenario, en el sudoeste de Australia (Solomon 1991).

A la Patagonia probablemente ha llegado con las primeras expediciones de europeos y criollos, quienes distribuyeron semillas de manzanos a lo largo de los márgenes de los ríos, donde todavía hoy se encuentran muchos ejemplares silvestres. Basilio Villarino en el diario de viaje de su misión de reconocimiento en 1781, asienta en varios pasajes la presencia de manzanos y

el uso que los nativos hacían de sus frutos (Villarino 1783, P. Calvo, com. pers.). La versión que tiene más consenso es la que da cuenta del establecimiento en el siglo XVII de una misión en la margen norte del lago Nahuel Huapi. A su fundador, Nicolás Mascardi, se le atribuye el establecimiento de la primera plantación de manzanos en la Patagonia (Bandieri 2005).

En la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, las plantaciones comerciales de frutales de pepita fueron introducidas en la década de 1920 por la Estación Experimental del Ferrocarril Sud, con el fin de disponer de cargas para el ramal ferroviario que conectaba la región, con el puerto de Buenos Aires. En esa década se implanta la primera colección de 24 variedades de manzanos sobre portainjerto Northern Spy (Giayetto y Villarreal 2010).



**Figura 3.** Tarjeta de aviso para dar inicio a las aplicaciones de control de la carpocapsa (década del 50).

En el año 1929 se creó el “Servicio de alarma de *C. pomonella*” con el objeto de definir el momento oportuno de control de la primera generación de la plaga. El monitoreo se llevaba a cabo utilizando trampas con cebo alimentario a base de extracto de malta. En sus primeros tres años, cubría las zonas de Cinco Saltos, Cipolletti, Allen y General Roca y, a partir de 1944, toda la región frutícola desde Centenario hasta Chichinales (Anónimo, 1950).

Este servicio informaba a los productores, mediante el envío de una “tarjeta” por correo postal, el momento de inicio de las aplicaciones para el control de la carpocapsa (Fig. 3). De esta manera y aún sin habérselo propuesto como tal, en la región se aplicaba un modelo sincronizado de control que arrojaba excelentes resultados en la mitigación de los daños de la plaga.

Este procedimiento fue abandonado a fines de la década del 80, al introducirse el “Sistema Termoacumulativo” para el control de la carpocapsa, que incluye el uso de trampas de feromona y un modelo fenológico basado a la acumulación de días-grado (Vermeulen *et al.* 1989). Éste último, es el sistema utilizado actualmente en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén.

### **2.3. Ubicación taxonómica**

Según Powell (1964), la carpocapsa deriva de un ancestro que taladraba y se alimentaba de los troncos de los árboles y que tenía la particularidad de depositar los huevos en forma aislada. En la actualidad, la carpocapsa mantiene éste hábito de oviposición, pero alimentándose en el interior de los frutos (Chapman 1973).

La descripción original fue realizada por Linnaeus (1758) en su “Sistema Nature” (Ed. 10, Vol 1, p.538) con el nombre de *Phalaena (Tortrix) Tinea pomonella*. Posteriormente, la misma especie fue descrita nuevamente bajo otros nombres, los que actualmente son considerados sinónimos posteriores:

*Pyralis pomana* Fabricius, 1775 y *Tortrix pomonana* Denis y Schiffermüller, 1775. A lo largo de su historia taxonómica esta especie estuvo asociada a tres géneros *Cydia* Hübner, 1825:375; *Laspeyresia* Hübner, 1825:381 y *Carpocapsa* Treischke, 1829. Así, es común ver en la literatura numerosas citas de *Carpocapsa pomonella*. Brown (1979) establece claramente la sinonimia de *Laspeyresia* y *Carpocapsa* con respecto a *Cydia*, con lo cual la combinación correcta es *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Brown 1979, Laumann, *ined.*).

En la actualidad existe consenso para considerar la siguiente ubicación taxonómica:

Orden: *Lepidoptera*  
Suborden: *Heteroneura*  
División: *Ditrysia*  
Subdivisión: *Heterocera*  
Superfamilia: *Tortricoidea*  
Familia: *Tortricidae* - Stephens 1829  
SubFamilia: *Olethreutinae* – (*sensu* Horak 1999)  
Tribu: *Grapholitini* - (*sensu* Horak 1999)  
Género: *Cydia* Hübner, 1825  
Especie: *Cydia pomonella* (Linnaeus 1758)

Los *Tortricidae* forman una extensa Familia con más de 5.000 especies en todo el mundo, de las cuales muchas se comportan como plagas. Se encuentran mayormente representados en los climas templados y tropicales (Borror *et al.* 1989, Horak y Brown 1991).

La subfamilia *Olethreutinae* ha sido tratada previamente con el nivel de Familia y es la que mayor número de especies presenta e incluye, además de *Cydia*, otros géneros tales como *Rhyacionia*, *Grapholita* y *Olethreuta*.

El género *Cydia* está representado en todas las regiones del mundo, pero más de las dos terceras partes de las especies descritas son holárticas. Muchas especies son monófagas y se alimentan de frutos y brotes apicales de *Rosaceae*, *Pinaceae*, *Leguminosae* y *Fagaceae* (Horak y Brown 1991).

## **2.4. Morfología y caracteres taxonómicos**

La descripción detallada de cada uno de los estados de desarrollo y sus respectivos estadios es de vital importancia en la identificación correcta del insecto. El término “estado” de desarrollo se refiere en este trabajo a cada una de las etapas morfológicas claramente diferenciadas que el insecto atraviesa durante su vida. En el caso de la carpocapsa, por ser un insecto holometábolo, ellos son: huevo, larva, pupa y adulto. El término “estadio” o “estadio” se define como las diferentes etapas que ocurren dentro de cada estado de desarrollo, limitadas por el proceso de ecdisis. Se considera entonces que la carpocapsa tiene cuatro estados de desarrollo y por ejemplo cinco estadios larvales.

### **2.4.1 Breve descripción de los estados y estadios**

*Huevos:* Son de forma circular, blanco-perlados y esféricos al momento de salir por el oviducto de la hembra. Luego, ésta deposita una capa de sustancia adherente que lo fija sobre la superficie de oviposición, tomando una forma circular aplanada en los bordes y algo elevada en el centro. Los huevos tienen un tamaño aproximado de 1,2-1,3 mm de diámetro.

Al momento de la oviposición, el interior del huevo, que se ve por la transparencia de la capa protectora y el corion, es opaco. Este estadio se denomina “huevo recién puesto” (RP). A las pocas horas y cuando se comienza a formar el embrión, éste se ve como una “u” o herradura translúcida y es denominado estadio de “embrión translúcido” (ET). Más tarde comienza la formación de distintas capas internas (membranas) del

embrión y se forma un halo rojo en la circunferencia del huevo dando inicio al estadio de “aureola roja” (AR). Por último, comienzan a ser visibles las partes esclerotizadas del embrión, especialmente la cabeza, comprendiendo éste el estadio denominado “cabeza negra” (CN).

Cuando la larva está completamente madura, corta con sus mandíbulas las capas exteriores en la zona lateral del huevo y se desliza fuera de él. Sobre hojas y frutos quedan adheridos los restos de la oviposiciones, más precisamente el corion, el cual se presenta como una escama brillante. Este estadio se denomina “huevo eclosionado” (EC).

*Larvas:* Las larvas de la carpocapsa recién eclosionadas son de color blanco cremoso y tienen la cabeza negra. Su tamaño en este estadio es de 2-2,5 mm. La larva de la carpocapsa pasa por cinco estadios antes de transformarse en pupa o crisálida. Se ha encontrado que el tamaño de la cápsula cefálica es un indicador confiable para inferir el estadio larval. De esta manera, se determinó que las larvas de primer estadio tienen un ancho de cápsula cefálica de 0,33 mm en promedio, las larvas de segundo estadio de 0,5 mm, las de tercer estadio de 0,82 mm, las de cuarto estadio de 1,18 mm y las de quinto estadio de 1,55 mm, con un error promedio de  $\pm 0,05$  mm (Weitzner y Whalon 1987).

El largo total del cuerpo en el quinto estadio larval varía en un rango de 14 a 18 mm. La cabeza de este mismo estadio es de color marrón claro con tintes amarillentos. La placa torácica (pronoto) es del mismo color y presenta además pequeños puntos oscuros. La posición de la cabeza y el aparato bucal masticador es *hipognato*, es decir, dirigido hacia abajo.

Las larvas tienen seis ojos simples (ocelos) distribuidos en forma desigual, con el sexto ocelo normalmente más próximo al número cuatro, que al número cinco. El cuerpo de la larva varía desde un color rosado pálido a blanco cremoso, según la época del año o el estadio larval considerado. El

segmento T1 del tórax de la larva tiene tres setas pre-espiraculares, denominado grupo L. La seta L1 está más próxima a L2 que a L3 (Nomenclatura según Hinton 1946). En el tórax, además, se encuentran los tres pares de patas verdaderas de la larva. En el abdomen, los espiráculos son de forma elíptica con el par número ocho algo más grande y ubicado más dorsalmente que el resto. Las pseudo-patas de la larva se sitúan en los segmentos A3-6 y A10 (pseudo pata anal) y tienen un círculo completo de *crochets* uniordinales. No posee peine anal.

El macho puede ser distinguido de la hembra en el quinto estadio de desarrollo debido a la presencia de los órganos reproductivos (testículos) en el segmento A5, los que se observan como dos manchas oscuras, de forma elíptica, en el interior del cuerpo.

*Pupas o crisálidas:* La pupa es de color marrón a marrón oscuro con bordes y espinas negras. El tamaño de la pupa varía entre 8 y 11 mm. Se encuentran visibles 10 segmentos abdominales. Los segmentos 4-7 tienen dos filas de espinas dorsales, característica que las diferencia de las pupas de noctuidos, las cuales tienen una sola fila de espinas. Las alas son anchas y no terminan en punta como en otros lepidópteros. No posee cremaster y el pronoto es cuatro veces más largo que el vértice a lo largo de la línea media. Los espiráculos son oblongos. En este estado de desarrollo también es posible diferenciar el sexo de las pupas mediante la observación del extremo del abdomen en los segmentos A6-8. Además, la pupa de la hembra es generalmente de mayor tamaño y peso que la del macho, aunque esta característica carece de importancia taxonómica.

*Adultos:* Los adultos son típicas polillas de color gris, de 1,5 a 2,0 cm de largo. La hembra es de mayor tamaño pesando 16-42 mg, mientras que el macho pesa 12-21 mg, pero como se mencionó para el caso de las pupas, esta característica no debe ser usada como un carácter para diferenciar los sexos, ya que puede presentar grandes variaciones. Las alas son las típicas de los

tortricidos, con bordes rectos en las anteriores y redondeados (abanico) en las posteriores. Las alas anteriores en reposo, caen en forma de techo a dos aguas y tienen una mancha bronceada (*ocellus*) en el extremo de cada una de ellas.

Los ojos compuestos son grandes y esféricos y las antenas filiformes. La subfamilia *Olethreutinae* presenta un solo grupo de escamas por segmento de antena. El aparato bucal es el típico de los lepidópteros con la *maxila* modificada en forma de *prosbohis* (*haustellum*). El abdomen tiene diez segmentos y entre el octavo y el noveno, la hembra posee, dorsalmente, una glándula para la liberación de la feromona.

El principal carácter taxonómico utilizado para la diferenciación de sexos es la morfología del extremo del abdomen de machos y hembras. Según lo describe Howel (1991), en la hembra se observa la papila anal u “*ostium communis*”, que es circular, de color marrón y del ancho de los segmentos abdominales. Se observa además, un punto oscuro sobre ésta, que es el “*ostium bursae*” u orificio de copula. El macho presenta un extremo abdominal cerrado, compuesto por un par de valvas que utiliza para sujetar a la hembra durante la cópula.

Otra diferencia que presentan los machos adultos de la carpocapsa es una mancha negra rectangular en el centro de la parte inferior del primer par de alas (Tremblay 1986, Howell 1991, Boselli *et al.* 2005). Sin embargo, este carácter sexual secundario no ha sido considerado hasta el presente para la diferenciación de sexos.

Desde la introducción del éster de pera -ethyl (*E,Z*)-2,4-decadienoate- (Light *et al.*, 2001) que permite la captura tanto de machos como de hembras durante el monitoreo de la carpocapsa, se hace necesario contar con un método rápido y sencillo de discriminar entre los sexos. La observación del extremo del abdomen en adultos atrapados en las trampas es a menudo

difícil debido a su reducido tamaño y fragilidad. Además, en muchas ocasiones no es sencillo retirar a los adultos del piso engomado de la trampa o su cuerpo (tórax y abdomen) son consumidos por pájaros u otros predadores. La presencia de una diferencia morfológica confiable en el primer par de alas de los machos en estas circunstancias, podría ser de gran utilidad para discriminar ambos sexos.

En este trabajo se propone, entre otros estudios, la evaluación de poblaciones de la carpocapsa de diferentes orígenes, para determinar la confiabilidad de esta diferencia morfológica en la determinación del sexo de los individuos atrapados en trampas de feromona y caïromona.

## **2.5. Diferencias con otros lepidópteros en agroecosistemas de los huertos de pomáceas en Argentina**

Los huertos de pomáceas, como cualquier ecosistema o agro-ecosistema, deben ser vistos como sistemas complejos en los que existe una interrelación entre diversos organismos. Trabajos realizados en huertos de manzanos en distintos lugares del mundo, han detectado en promedio entre 430 y 940 especies diferentes de insectos, con máximos de hasta 1.636 especies (Szentkiralyi y Kozar 1991). Las diferencias están dadas principalmente por las prácticas de manejo utilizadas, especialmente la aplicación de agroquímicos y el tipo de cobertura verde presente en el huerto frutal. La mayor bio-diversidad está asociada a un menor uso de insumos (*inputs*) y a la consociación y permanencia de diferentes especies vegetales en la cobertura verde (Altieri y Nichols 2004, Fernández *et al.* 2008).

Existen otros insectos, especialmente lepidópteros, con hábitos similares que generalmente pasan desapercibidos a causa de las tareas de control aplicadas para mitigar los daños de la carpocapsa. Al introducirse técnicas de control

específicas para la carpocapsa y disminuir en forma drástica su población, el nicho ecológico dejado vacante, puede ser ocupado por otros insectos de similares características y generalmente dentro de la misma familia taxonómica. Este es el caso de algunos tortricidos como *Cydia molesta* (Busk) y *Argyrotaenia pomililiana* Trematerra y Brown, una nueva especie descrita recientemente para la zona del Alto Valle de Río Negro y Neuquén (Trematerra y Brown 2004).

También suelen encontrarse lepidópteros nativos como *Athetis (Proxenus) rionegrensis* (Chiarelli de Gaham) (Lepidoptera: Noctuidae) y otros noctuidos de escasa prevalencia. Por otra parte, existen insectos como *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae), que en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén se ha encontrado solamente relacionado con los nogales, pero que en otros países como Chile, está presente además en frutales de hueso y pepita (González 1999).

En las tareas rutinarias de monitoreo de plagas en los huertos frutales se observan, además de trampas de captura de insectos, hojas, ramas, frutos, etc. Por tanto, es necesario contar con una guía rápida para identificar claramente las especies presentes. Una clave resumida que contemple solamente las especies presentes en el área de estudio, resulta de gran utilidad para fines didácticos en el proceso de capacitación del personal requerido para la implementación de programas de control en grandes áreas.

**2.5.1. Clave para la diferenciación rápida de *C. pomonella* (L.) de otras especies de lepidópteros presentes en los huertos frutales del Alto Valle de Río Negro y Neuquén** [Modificado de Parra (2002) y otras fuentes]

**Huevos**

- 1. Huevos redondeados aplanados.....2
- 1.1. Huevos redondeados con forma de cúpula.....5

2. Huevos puestos en forma aislada.....	3
2.1. Huevos agrupados (en masa).....	4
3. Huevos de menos de 1 mm de diámetro.....	<b>Cydia molesta</b>
3.1. Huevos con un diámetro mayor de 1 mm. ....	<b>Cydia pomonella</b>
4. Huevos de tortricidos enrolladores de hojas .....	
.....	<b>(Argyrotaenia, Archips, Clarkeulia)</b>
5. Huevos de noctuidos.....	<b>(Athetis, Pseudaletia, Agrotis, etc.)</b>

### **Larvas**

1. Larva de color verde.....	<b>Enrollador de hoja</b>
1.1. Larva de color rosado.....	2
2. Larva de color rosado claro, de 18-20 mm de largo, cabeza marrón castaño, placa torácica castaño claro con puntos negros, placa anal con puntos negros, peine anal ausente, pináculo sombreado oscuro, más o menos lavado.....	<b>Cydia pomonella</b>
2.1. Larva color rosado intenso, de 12-14 mm de largo, cabeza marrón castaño, placa torácica cuadrangular clara, peine anal presente, pináculo claro.....	<b>Cydia molesta</b>

### **Pupas**

1. Segmentos abdominales 4-7 con una sola fila de espinas.....	2
1.1 Segmentos abdominales 4-7 con dos filas de espinas.....	3
2. Pupas de lepidópteros no pertenecientes a la familia Tortricidae.....	
.....	<b>Otros lepidópteros</b>
3. Cremáster ausente.....	4
3.1 Cremáster presente.....	<b>Otros Tortricidos</b>
4. Espiráculos oblongos, pronoto cuatro veces más largo que el vértex en la línea media.....	<b>Cydia pomonella</b>

### **Adultos**

1. Mariposas de menos de 15 mm de largo.....	2
1.1. Mariposas de más de 15 mm de largo.....	3

2. Palpos labiales cortos, alas anteriores gris oscuro, sin bandas blancas.....***Cydia molesta***
3. Alas anteriores gris claro con una mancha bronceada en el extremo.....***Cydia pomonella***

## **2.6. Sistema reproductivo de machos y hembras**

El sistema reproductivo de los machos de la carpocapsa, como el de todos los tortricidos, consta simplemente de un par de testículos conectados a un par de vesículas seminales y un conducto eyaculatorio medio. Además, existen algunas glándulas accesorias que vuelcan su contenido en el conducto eyaculatorio o los vasos deferentes (Benz 1991).

El sistema reproductivo de la hembra, algo más complejo, tiene características especiales en los lepidópteros “Ditrysia” (lepidópteros más evolucionados) como la carpocapsa. Consta de los ovarios conteniendo las ovariolas, los oviductos laterales que se unen para formar el oviducto medio, la vagina y, una serie de glándulas y estructuras anexas. Entre estas estructuras anexas, las más importantes son: la espermateca y la *bursa copulatrix*. La característica principal de este sistema reproductivo es la presencia de dos aberturas: 1) ubicada en el segmento X del abdomen y denominada oviporo (*ostium communis*), que conecta el ano con la vagina y el oviducto, por donde el huevo fertilizado es depositado. 2) ubicada en el segmento VIII del abdomen y denominado orificio copulatorio (*ostium bursae*) dónde se encuentra la vulva y por donde se produce la cópula (Benz 1991).

En el momento de la cópula, el macho transfiere a la hembra el *espermatóforo* con los espermatozoides, el que es alojado en la *bursa copulatrix*. Más tarde los espermatozoides salen del *espermatóforo* para ser almacenados en la espermateca. A medida que los huevos (zigotos) son producidos por la hembra, bajan por el oviducto, donde son fertilizados para

pasar luego a la vagina para su deposición final. El *espermatóforo* llena la *bursa copulatrix* y toma una forma y consistencia particular (forma de pera bilobulada o corazón) que permite determinar mediante disección si la hembra fue fecundada. La formación de esta estructura consistente, tiene lugar debido a la presencia de distintas secreciones producidas en diferentes partes del sistema reproductivo del macho (Chapman 1998).

El número de espermatóforos presentes en la *bursa copulatrix* es un indicativo de la cantidad de veces que la hembra ha copulado. En observaciones realizadas en el laboratorio se ha encontrado, en algunas hembras, hasta ocho o nueve espermatóforos, pero esto raramente ocurre en la naturaleza. El promedio de espermatóforos en hembras silvestres es de 1,2 pudiendo encontrarse un 15% de hembras con más de un espermatóforo, especialmente hacia el final de la estación (Gehring y Madsen 1963). Sin embargo, generalmente ocurre solo una cópula. En el caso de producirse más de una cópula, el primer espermatóforo es de mayor tamaño que el resto (Howell 1988).

La presencia del espermatóforo en las hembras capturadas en las trampas con cebos a base de caíromonas, permite calcular el porcentaje de hembras fecundadas en el sitio de monitoreo (Knight 2000, Knight y Light 2005a). Este dato es de gran relevancia para inferir la eficacia del uso de la técnica de confusión sexual utilizada para el control de la plaga.

Una vez que la hembra es fecundada, interrumpe la liberación de feromona y deja de ser atractiva para los machos. La ocurrencia de más de una cópula en estos casos podría estar relacionada con otros mecanismos de atracción que intervendrían a corta distancia (Castroville y Cardé 1980, Witzgal *et al.* 2008). Los machos por su parte pueden copular a más de una hembra (Howell 1972).

## 2.7. Hospederos

Además de cumplir su ciclo biológico en manzanos, especie a la que se encuentra completamente adaptada, la carpocapsa puede desarrollarse en otras pomáceas como perales y membrilleros y además, en nogales. Las manzanas son susceptibles al ataque de la carpocapsa durante todo el período de crecimiento y maduración. En ensayos realizados en condiciones de laboratorio se alcanzan niveles de daño superiores al 80% desde el momento del cuaje de los frutos, hasta su madurez comercial (Cichón, L., datos no publicados). A campo, en situaciones de no uso de medidas de control, las cantidad de frutos dañados puede superar el 80 o 90%.

En perales, en situación de campo y sin la aplicación de medidas de control, los daños normalmente alcanzan valores entre 40 y 60%, aunque en la cv. *Packham's Triumph* se han observado casos de ataques que afectan a más del 80% de los frutos. En ensayos realizados en laboratorio se ha observado que durante las primeras fases del crecimiento de los frutos, especialmente durante el mes de noviembre en la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, existiría un período de baja susceptibilidad al ataque de la carpocapsa (Cichón, L., datos no publicados). Esta diferente susceptibilidad de las peras respecto de las manzanas se especula que está relacionada con la presencia de concreciones de calcio (esclereidos) en las células de la epidermis de los frutos del peral (Westigard *et al.* 1976).

En la bibliografía internacional (Putman 1963, Yokohama y Miller 1988, Curtis *et al.* 1990) y en algunas publicaciones argentinas de mediados del siglo XX (Chiesa-Molinari 1948) se menciona a esta plaga atacando frutales de hueso. Esta última cita es reproducida por Cordo *et al.* (2004) en la que se menciona también a ciruelos, durazneros, nectarinas, damascos y granados. Sin embargo, en la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén no hay registros de ataques en éstos hospederos. La misma situación se presenta en Mendoza (Cucchi y Becerra 2006, Lannati S., com. pers). Sin embargo, es

posible encontrar trabajos realizados en condiciones de laboratorio (Pszczolkowski y Brown 2003), donde se menciona que la carpocapsa puede sobrevivir alimentándose de una gran variedad de plantas, aunque es poco probable que esto ocurra en la naturaleza.

## **2.8. Ciclo de vida (bionomía) y desarrollo estacional (fenología) de la carpocapsa**

Los insectos son organismos con escasas posibilidades de regular su temperatura corporal, por este motivo se los denomina “poikilotermos” (*poikilo* = variedad (G); *thermo* = calor (G)) o “heterotermos”. Esto significa que su desarrollo estará mayormente influenciado por la temperatura ambiente. Además de la temperatura, otros factores que influyen son: el fotoperíodo (cantidad de horas de luz) y en menor medida la humedad (Chapman 1998).

El tiempo fisiológico que mide el desarrollo de los insectos se indica mediante la acumulación de días-grado. Esta metodología fue propuesta por primera vez para la carpocapsa por Glenn (1922). La relación entre la velocidad de desarrollo de la carpocapsa y la temperatura es aproximadamente lineal dentro de ciertos rangos, apartándose de la recta cuando los valores de temperatura se acercan al umbral máximo (UMax) y al mínimo (UMin). El UMax promedio de desarrollo de la carpocapsa fluctúa entre 29 y 31°C para huevos, larvas y pupas respectivamente. Por encima de estos valores la mortandad se incrementa progresivamente haciéndose máxima a temperaturas superiores a 40°C. El UMin de desarrollo de la plaga aceptado en la mayoría de los modelos fenológicos, es de 10°C (Pitcarin *et al.* 1991, Knight 2007, Aghdam *et al.* 2009). La mortandad de individuos a temperaturas menores a 10°C no ocurre a menos que se produzca el congelamiento de los tejidos ( $T^{\circ} < 0^{\circ}\text{C}$ ). Sin embargo, las larvas diapausantes o invernantes pueden tolerar temperaturas mucho más extremas.

La aproximación lineal mencionada anteriormente de la tasa de desarrollo entre las temperaturas por debajo de un umbral máximo (UMax) de 31°C y por encima de un umbral mínimo (UMin) de 10°C, es lo que determina las unidades fisiológicas de desarrollo (UFD) necesarias para cada estado del insecto. Sin embargo, varios autores han determinado que la tasa de desarrollo de la carpocapsa es marcadamente no lineal y los modelos de este tipo predecirían en forma más precisa el desarrollo de esta especie. Pitcairn *et al.* (1991) por ejemplo propone utilizar un modelo no lineal basado en la función de Logan *et al.* (1976). A pesar de ello, trabajos más recientes como el de Aghdam *et al.* (2009) consideran que el modelo lineal de Ikemoto y Takai (2000) es apropiado para estimar el desarrollo de la carpocapsa.

Bajo las condiciones del Alto Valle de Río Negro y Neuquén se han validado las unidades fisiológicas determinadas por el modelo lineal (Vermeulen *et al.* 1989). Para el cálculo de los días-grado o “carpo-grados” se promedian tres temperaturas diarias (09, 15 y 21 h GMT). A este promedio se le resta el UMin (10°C) y no se utiliza un UMax. La acumulación de temperaturas comienza a partir del 1 de agosto. Por tanto, todas las observaciones de campo mencionadas en este trabajo, están referidas a los días-grado calculados con estos parámetros.

La carpocapsa, como todos los lepidópteros, tiene una metamorfosis completa. Transcurre por los cuatro estados mencionados de huevo, larva, pupa y adulto. Su ciclo de vida está sincronizado con la fenología de su hospedero más importante, el manzano, ya que las dos especies han evolucionado en forma conjunta y tienen requerimientos ecológicos similares (Shel'Deshova 1967, Westgood 1978, Riedl 1983).

Es además, un insecto de ciclo de vida multivoltino con diapausa facultativa (ver discusión sobre la aplicación de estos términos en Danks 1987, Capítulo 2) cumpliendo con tres generaciones completas por año. La tercera

generación se ve interrumpida al final de una temporada y se completa a la siguiente, luego de pasar por un período de diapausa. En algunos años especialmente calurosos, se puede producir una cuarta generación, debido a una mayor acumulación de temperaturas; aunque ésta generación extra, será de una magnitud muy reducida comparada con la previa (Cichón y Fernández 1993).

El período invernal lo pasa como larva completamente desarrollada en la corteza de los árboles frutales, resquebrajaduras de los troncos y ramas, en puntales, bins, e incluso, aunque en mucha menor proporción, en el suelo, entre la hojarasca. Luego de cumplimentar ciertos requerimientos ecológicos, a fines de agosto, principios de septiembre, las larvas reanudan su desarrollo para convertirse en pupas y posteriormente en adultos.

La finalización de la diapausa puede ser desencadenada por frío, cambios en el fotoperíodo (duración del día) o por ambas condiciones combinadas (Wildbolz y Riegenbach 1969, Sieber y Benz 1980). Ashby y Singh (1990) demostraron que prácticamente el 100% de las larvas diapausantes de la carpocapsa se reactivaron luego de un período de 60 días de acondicionamiento (15°C y total oscuridad) seguidos por 50 días de frío (2°C y total oscuridad). La reactivación de las larvas invernantes debe ocurrir en el momento preciso para coincidir con el cuaje y desarrollo de los frutos de su hospedero. Los manzanos requieren entre 1.000 y 1.600 h de frío por debajo de 7°C a partir de la caída de sus hojas (mes de mayo) para romper la dormancia y florecer adecuadamente en la primavera (Westwood 1978); por tanto, es muy probable que este requisito de los manzanos, sea similar a las horas de frío que necesita la carpocapsa para romper su dormancia.

En el Alto Valle de Río Negro y Neuquén se acumulan entre 1.200 y 1.700 horas con temperaturas inferiores a 7°C, considerando el período que va desde el 1 de mayo al 31 de agosto (INTA 2010), lo que satisfaría lo requerido por los frutales. La acumulación de horas con temperaturas de 2°C o

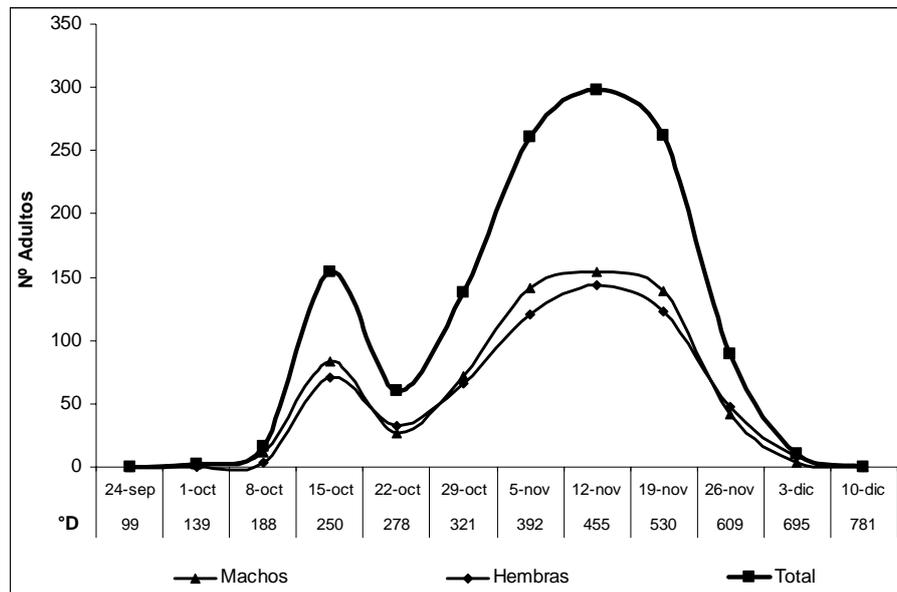
menores varía entre 600 y 900, no alcanzándose las 1.200 h propuestas por Ashby y Singh (1990) necesarias para romper la diapausa invernal de la carpocapsa y obtener una emergencia sincronizada.

Sin embargo, se ha encontrado que no todas las larvas necesitan acumular suficientes horas de frío y otras no muestran respuesta al fotoperíodo, pudiendo de todas maneras terminar la diapausa, aún bajo condiciones de fotoperíodos largos y altas temperaturas (Wildbolz y Riggenbach 1969, Cisneros 1971).

En zonas como la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, con inviernos suaves, es probable que debido a los diferentes sitios de hibernación, el grado de exposición y otros factores microclimáticos, no todos los años ni todas las larvas satisfagan las horas de frío necesarias para romper la diapausa. La emergencia de estos adultos no ocurriría en los períodos de días cortos de primavera, aunque las temperaturas fueran favorables, sino que estas larvas terminarían su diapausa bajo condiciones de días largos (noviembre) y con altas temperaturas (Cichón 1999). Esta situación explicaría la presencia de un pico de emergencia alrededor de los 450-500°D. En consecuencia, las larvas que logran cumplir adecuadamente con los requerimientos de frío, conformarían el primer pico de emergencia alrededor de los 250°D (a) y las restantes, parte mayoritaria de la población, el segundo [450-500°D (b)], dando origen a una curva de tipo bi-modal como la que muestra la figura 4.

En años con inviernos muy fríos o muy templados, la curva de la figura 4 puede tener una forma diferente. La extensión y forma de la curva de emergencia estaría influenciada, en principio, por la cantidad de horas de frío acumuladas durante el invierno (Wildbolz y Riggenbach 1969, Sieber y Benz 1980). Algunos autores (Ashby y Singh 1990) consideran que la emergencia también está relacionada con un período llamado de “acondicionamiento” de las larvas diapausantes, que ocurre entre el

momento de entrada en diapausa y el inicio de las bajas temperaturas invernales.



**Figura 4.** Emergencia de adultos de la carpocapsa provenientes de larvas diapausantes colectadas en fajas-trampa de cartón corrugado. (ejemplo de una temporada típica – año 2002) (Elaboración propia).

Transformando estos datos de emergencia en porcentaje acumulado de adultos versus el tiempo, en los años típicos se observa que en promedio, el 18-20% de las mariposas emergen a los 250°D, el 50% alrededor de los 400°D y el 90% a los 650°D. Esta distribución de la emergencia se corresponde con la oviposición y posterior nacimiento de larvas.

Según el modelo fenológico de Vermeulen *et al.* (1989), los primeros adultos aparecen en la primavera a partir de los 70-90 días-grado, coincidiendo con la floración de la cultivar *Red Delicious*. Algunos autores señalan que existe protandria, es decir que los machos emergen unos días antes que las

hembras (Batiste y Olson 1973) mientras que otros, al igual que lo observado por este autor en la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, no han encontrado tales diferencias (Hathaway *et al.* 1971, Rock y Shaffer 1983).

Luego de la emergencia de los adultos, es necesario un lapso de tiempo determinado para que los órganos sexuales maduren, las hembras puedan emitir feromona, los machos sean capaces de detectar la feromona, se produzca el cortejo, encuentro y la cópula. Este período es denominado de pre-oviposición (Glenn 1922). Finalmente, luego de la fecundación, comienza la oviposición.

Los machos vuelan con temperaturas mayores a 13°C y las hembras con temperaturas superiores a 15°C, pero la cópula se produce preferentemente con temperaturas crepusculares por encima de los 17°C (Batiste *et al.* 1973). El viento también influye sobre el vuelo de los adultos y velocidades superiores a 11 km.h<sup>-1</sup> pueden posponer, por tanto, la actividad de apareamiento (Putman 1963). La carpocapsa además, por ser un microlepidóptero de hábitos crepusculares, ve limitada su actividad diaria a unas pocas horas durante la tarde e inicio de la noche y en menor medida, si las temperaturas son adecuadas, durante la madrugada (Borden 1931, Howell *et al.* 1990) con intensidades de luz que van desde 0 a 150 lux (Castrovillos y Cardé 1979).

Las hembras producen y liberan un compuesto químico denominado codlemona (*E,E*)-8,10-dodecadien-1-ol (*E8,E10-12OH*) (Roelofs *et al.* 1971), que es el componente principal de la feromona sexual de la especie. Dodecan-1-ol (*12OH*) es el segundo compuesto en abundancia y tetradecan-1-ol (*14OH*) el tercero, existiendo además los isómeros geométricos de la codlemona en diferentes proporciones (Arn *et al.* 1985, Witzgal *et al.* 2008). La hembra atrae a los machos por medio de la emisión de esta feromona, que comienza en horarios próximos a la puesta del sol y se mantiene durante las siguientes cuatro horas. Durante estos períodos exclusivamente, es cuando

se produce la liberación de la feromona por parte de la hembra (Wong *et al.* 1971).

Durante este proceso, la hembra toma una postura característica de llamado elevando las alas y bajando el abdomen, para dejar expuesta una glándula ubicada en la parte dorsal del abdomen, entre los segmentos octavo y noveno (Barnes *et al.* 1966). El llamado por parte de la hembra y la fecundación pueden ocurrir al día siguiente de la emergencia de los adultos, sin embargo, la producción de feromona alcanza su punto máximo al tercer día de la emergencia (Vickers y Rothschild 1991). La hembra produce feromona activamente durante 4 a 6 días y luego su emisión comienza a reducirse (Howel 1972, Butt y Hataway 1966). Complementariamente, la máxima actividad de cópula se produce a las 48 horas de emergidos los adultos, para luego declinar gradualmente y finalizar a los 10 u 11 días.

Los machos efectúan vuelos cortos en zig-zag con leves ascensos y descensos en contra de las corrientes de aire y siguiendo la pluma de feromona emitida por la hembra (Borden 1931). Algunos autores describen desplazamientos desde 50 m hasta 11 km (Howell y Clift 1974, Mani y Wildbolz 1977). Sin embargo, una proporción mayoritaria de la población de la carpocapsa (70%) tiene hábitos sedentarios, no alejándose más de 100 m desde su punto de liberación (White *et al.* 1973). Por otra parte, en ensayos realizados en laboratorio con molinos de vuelo, Schumacher *et al.* (1997) encontró que los machos y las hembras, estas últimas tanto vírgenes como fecundadas, pueden volar distancias similares, siendo la longitud media medida de hasta 11 km y la máxima de 37 km (en línea recta). De todos los adultos observados en este experimento, solo un 15% realizaron vuelos de larga distancia (mayores a 5 km).

Una vez que el macho localiza a la hembra en posición de llamado, los estímulos visuales son de fundamental importancia para iniciar la cópula, ya que el cortejo que lo precede, incluye una serie compleja de movimientos de

alas, con elevación y agitación rápida de las mismas y la expulsión del peine de pelos en el extremo del abdomen de los machos (Hutt y White 1977, Castrovillo y Cardé 1980, Curkovic *et al.* 2001)

Durante la cópula, los individuos se encuentran unidos por el extremo distal del abdomen, con las cabezas dirigidas hacia lados opuestos y las alas de la hembra cubriendo el extremo abdominal del macho. De esta manera se mantienen unidos de 20 a 90 minutos (Howell *et al.* 1978).

La temperatura óptima para el apareamiento está comprendida en el intervalo de 12,5°C a 33,0°C (Batiste *et al.* 1973). Sin embargo, cuando se presentan condiciones desfavorables durante el período óptimo de cópula (por ej.: viento, lluvia), los vuelos pueden ser pospuestos (Putman 1963).

Luego de la cópula, la hembra pierde rápidamente su capacidad de secretar feromona y en consecuencia su poder de atracción (Howell 1972). Este hecho presupone que en condiciones de campo, las hembras copulan una sola vez, sin embargo, puede encontrarse hasta un 15% de hembras con más de un espermátforo, especialmente hacia el final de la estación (Gehring y Madsen 1963). Estas cópulas podrían producirse debido a encuentros casuales en los que intervendrían estímulos desencadenados a distancias cortas.

Las hembras pueden oviponer una media de 132 a 162 huevos (Howell 1981). La cantidad de huevos se ve influenciada por las condiciones de fotoperíodo a las que está expuesta la hembra antes de su emergencia como adulto (Howell 1981) y al tamaño corporal (Geier 1963). Es así que al comienzo y al final de la temporada, con días cortos, las hembras ponen menos huevos ( $\bar{x} = 44$ ) y durante la primera generación de adultos (diciembre-enero), con días largos y presencia de individuos de mayor tamaño, la postura se incrementa. El período de oviposición más activo ocurre durante los primeros cinco días de vida de la hembra y se ha observado que si las mismas

se aparean luego del cuarto día de emergencia, se produce una reducción tanto de su fertilidad como de su fecundidad (Gehring y Madsen 1963, Vickers 1977).

Al igual que la actividad de los adultos, la oviposición tiene lugar durante el crepúsculo, aproximadamente a partir de dos horas y media antes de la puesta del sol (Riedl y Loher 1980). El período de oviposición más activo ocurre durante los primeros cinco días de vida de la hembra (Gehring y Madsen 1963, Vickers 1977).

Numerosa bibliografía internacional menciona al compuesto  $\alpha$ -farnaseno presente en los frutos, como el principal atrayente de las hembras ovíparas (Barnes 1991, Landolt y Phillips 1997, Hern y Dorn 1999), realizándose cuantiosos esfuerzos para utilizarlo como atractivo para el monitoreo de la plaga (Wearing y Hutchins 1973, Barnes 1991, Hern y Dorn 2002, Hughes y Dorn 2002, Reed y Landolt 2002). Sin embargo, debido a las características químicas de este compuesto, que le confieren una muy baja estabilidad, no ha podido ser empleado con éxito en condiciones de campo (Cavil y Coggiola 1971). Nuevos compuestos descubiertos en los últimos años, podrían resultar también atractivos para las hembras (Light *et al.* 2001, Hern y Dorn 2002, Ansebo *et al.* 2004, Coracini *et al.* 2004, Casado *et al.* 2006), destacándose entre ellos el (2E, 4Z) decadienoato de etilo o éster de pera (Ioriatti *et al.* 2003, Il'ichev 2004, Knight y Light 2005a).

La relevancia de estos compuestos se evidencia a partir de la ubicación de los huevos sobre los frutos o en hojas próximas a éstos como lo indican los trabajos de MacLellan (1962), Jackson (1979) y Blomfield *et al.* (1997).

En estudios realizados en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén se observó que en promedio, más del 95% de los huevos depositados por las hembras, se encuentran directamente sobre los frutos o sobre hojas en un radio no mayor a 10-12 cm de distancia de los primeros (Cichón, datos no publicados).

Durante la primavera se observa que los huevos son puestos por las hembras en forma aislada sobre hojas -en mayor proporción- y en algunos casos sobre los frutos, invirtiéndose esta situación durante el resto de la temporada.

Las bajas temperaturas presentes durante el inicio de la primavera, probablemente limite el desarrollo de los primeros huevos depositados. Las temperaturas crepusculares difícilmente superan los 15°C y la acumulación de los días-grado necesarios para el desarrollo de los huevos (90°D), es frecuentemente mayor a 10-12 días, siendo poco probable que estos sobrevivan. La escasa probabilidad de supervivencia de estos huevos depositados en forma temprana, sincronizaría el ciclo de la plaga con el posterior cuaje y crecimiento de los frutos a partir de la primera quincena de octubre.

Según observaciones personales del autor, los primeros huevos comienzan a eclosionar entre los 247 y los 270°D, por tanto, si consideramos que son necesarios 90°D para completar su desarrollo, se considera que éstos han sido depositados alrededor de los 160-180°D (primera semana de octubre). A partir de este momento, las posturas y nacimientos de larvas se incrementan hasta hacerse máximas entre mediados y fines de noviembre (450 a 550°D), para luego declinar. En los casos en que la densidad de la plaga es elevada, el período de riesgo de daño de la primera generación de la carpocapsa se prolonga desde mediados de octubre hasta fines de diciembre (70 a 80 días).

Las larvas recién eclosionadas de estos huevos se descuelgan por medio de un hilo de seda, en busca de los frutos, para comenzar a alimentarse o bien, si el huevo está puesto sobre un fruto, las larvas pueden atacarlo directamente, luego de eclosionar. El período que transcurre entre el nacimiento de la larva y el comienzo del daño puede ser de unos pocos minutos, hasta algunas horas, dependiendo del sitio de oviposición y la temperatura ambiente. En este caso, también existe numerosa bibliografía que relaciona la atracción de las larvas hacia los frutos con compuestos

liberados por éstos últimos (Sutherland y Hutchins 1972, Landolt *et al.* 2000, Landolt *et al.* 1998).

Luego de atravesar la epidermis, la larva construye una cámara en espiral donde muda del primero al segundo estadio. Seguidamente, desarrolla una galería en la pulpa que generalmente se dirige en forma recta hacia la zona carpelar donde se encuentran las semillas, que son ricas en aceites, en el corazón del fruto (Hall 1934). La entrada en el fruto se puede producir por distintos lugares de su superficie, por la zona peduncular o por la zona calicinal. Esta última vía de entrada es especialmente predominante en las peras, debido a la dureza de algunos de los componentes de las células de la epidermis de estos frutos.

Cuando la larva alcanza las semillas, generalmente ha mudado al tercer estadio. En las semillas pueden encontrarse también larvas de segundo estadio, aunque en general éstas probablemente hayan ingresado por la zona del cáliz del fruto, recorriendo un trayecto menor y sin la necesidad de construir una galería. Es posible encontrar también, larvas de segundo o tercer estadio en distintos puntos de la galería, realizando tareas de limpieza y eliminando desechos y heces por el orificio de entrada.

Una vez alcanzadas las semillas, la larva se alimenta de éstas y muda al cuarto y quinto estadio en la zona del “corazón” del fruto. Completado el desarrollo, luego de 25 a 30 días en el interior del fruto y de pasar por cinco estadios, la larva madura abandona el fruto por el mismo orificio de entrada o por otro construido en ese momento. Preferentemente deja el fruto durante la noche, cuando la temperatura supera el umbral mínimo de desarrollo (10°C) (Charmillot 1976). Si no se dan las condiciones propicias para la búsqueda de un lugar de refugio para la construcción del capullo, la larva teje una “tapa” de seda en la salida de la galería y permanece en ese estado aguardando el momento adecuado para salir. En situaciones especiales y bajo condiciones de estrés, la larva puede abandonar el fruto en

cualquier estadio de desarrollo y buscar otro hasta alcanzar el quinto estadio larval (Ferro y Harwood 1973).

Una vez fuera del fruto, si éste está aún sobre la planta, se descuelga mediante la secreción de un hilo de seda y busca un lugar protegido para tejer el capullo de seda que la resguardará de las condiciones climáticas, predadores, parasitoides, etc. Generalmente el lugar más propicio para refugiarse es el tronco del árbol y más precisamente debajo de la corteza. Sanderson (1908) encontró que el 70% de las larvas se refugiaban en los troncos y el 30% restante en las ramas más pequeñas. Sin embargo, también pueden refugiarse en hendiduras y corteza de puntales, en los cajones bins durante la época de cosecha, en los hilos usados para atar ramas u otros lugares.

Ya conformado el capullo de protección en los lugares de refugio, las larvas de la primera y segunda generación que continúan su ciclo, se transformarán en pupa. Luego de la acumulación de un promedio 116°D, finalmente emergen los adultos, reiniciando el ciclo. Se debe hacer notar que no todas las larvas se transforman en pupas y emergen como adultos, ya que en distintos momentos de la temporada, una proporción creciente de las larvas se refugiará en lugares protegidos y permanecerán en ese estado hasta la primavera siguiente, como larvas diapausantes.

En la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, durante la primera generación, más del 95% de las larvas que buscan refugios fuera de los frutos, se transformarán en pupas y finalmente emergerán como adultos de la primera generación del año. Los primeros adultos de esta primera generación comenzarán a aparecer a mediados de diciembre (750-800°D) y la emergencia se extenderá durante todo enero, hasta principios de febrero. Un pequeño porcentaje de las larvas encapulladas (<5%), no continuará su desarrollo y entrará en diapausa pasando a integrar un lote de reserva de la plaga para el próximo año. Estas larvas con diapausa obligatoria (Beck 1968)

permanecerán todo el verano y el próximo invierno en esas condiciones y recién emergerán como adultos en la siguiente primavera. Esta parte de la población se comportará como univoltina, ya que solamente cumplirá una generación al año y su inducción a diapausa no está determinada por condiciones climáticas o fotoperíodo, sino que estaría gobernada por mecanismos genéticos (Sieber y Benz 1980, Danks 1987).

Por otra parte, los adultos emergidos durante diciembre y enero (primera generación del año) encontrarán condiciones sumamente favorables para cumplir con la etapa de fecundación y oviposición, acortándose significativamente también los tiempos para completar la segunda generación del año. Durante éste período, los huevos eclosionarán produciendo larvas que atacarán los frutos y luego de completar los cinco estadios larvales, buscarán nuevamente refugios para tejer su capullo. Un porcentaje menor al 20% de las larvas de ésta segunda generación pasarán a integrar el lote de larvas diapausantes de reserva, de la misma manera que ocurrió en la generación anterior. El resto de las larvas (más del 80%), se transformará en pupa y luego dará origen a la segunda generación de adultos. En total, la segunda generación (de huevo a adulto) tiene lugar desde fines de diciembre hasta mediados de marzo.

Los adultos de la segunda generación que vuelan desde fines de enero hasta mediados de marzo, se aparean y dan origen a la tercera generación de huevos. Esta tercera generación provocará daños en los frutos desde inicios de febrero (1.350°D) hasta mediados de marzo (1.970°D). Las larvas completarán su desarrollo dentro de los frutos y saldrán nuevamente de éstos para buscar los lugares de protección y formar los capullos. Sin embargo, esta vez el desarrollo se verá interrumpido y el 100% de las larvas de esta tercera generación entrará en diapausa, quedando como larvas invernantes que no completarán su ciclo sino hasta la primavera siguiente.

El total del ciclo de una generación (huevo a adulto) requiere de la acumulación de 562°D (45 a 55 días) y el total de las tres generaciones, considerando los períodos de pre-oviposición, es de alrededor de 1.750°D.

## **2.9. Inducción a la diapausa**

La diapausa se define como un estado fisiológico de detención del desarrollo, que le permite a un organismo sobrevivir a condiciones desfavorables (Beck 1968). Estas larvas tejen un capullo más denso y redondeado que las no diapausantes (Hansen y Hardwood 1968).

La inducción a la diapausa está dominada, en gran medida, por el fotoperíodo. La mayoría de las larvas de la carpocapsa tienen diapausa facultativa, pero algunas son siempre univoltinas (diapausa obligatoria) aún bajo condiciones favorables de fotoperíodo largo (Sieber y Benz 1980). Para el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, 39° de latitud Sur, 67° de longitud Oeste y 242 m snm, el comienzo de la diapausa (obligatoria) no se produce en una fecha cierta y varía a lo largo del mes de diciembre. La proporción de individuos con diapausa obligatoria varía en las distintas poblaciones (Sieber y Benz, 1980), siendo en esta región, muy baja (<5%). Estos individuos son genéticamente univoltinos y con diapausa obligatoria, lo que consistiría un mecanismo de supervivencia para años con escaso alimento (Brown *et al.* 1979).

Por otra parte, a medida que los días se acortan durante el mes de enero, cada vez es mayor el porcentaje de larvas que es inducido a diapausa y a no continuar su desarrollo, permaneciendo como larvas diapausantes para la próxima temporada. El punto de inflexión en que el 50% de las larvas encontradas en un determinado lugar permanecerá como larva diapausante, se da a principios de febrero (Cichón 1999). Este punto se denomina “fotoperíodo crítico del 50%” (CPhP<sub>50</sub>) y varía según las diferentes regiones del mundo, entre 13 y 16 horas de luz (Heliofanía Teórica Astronómica)

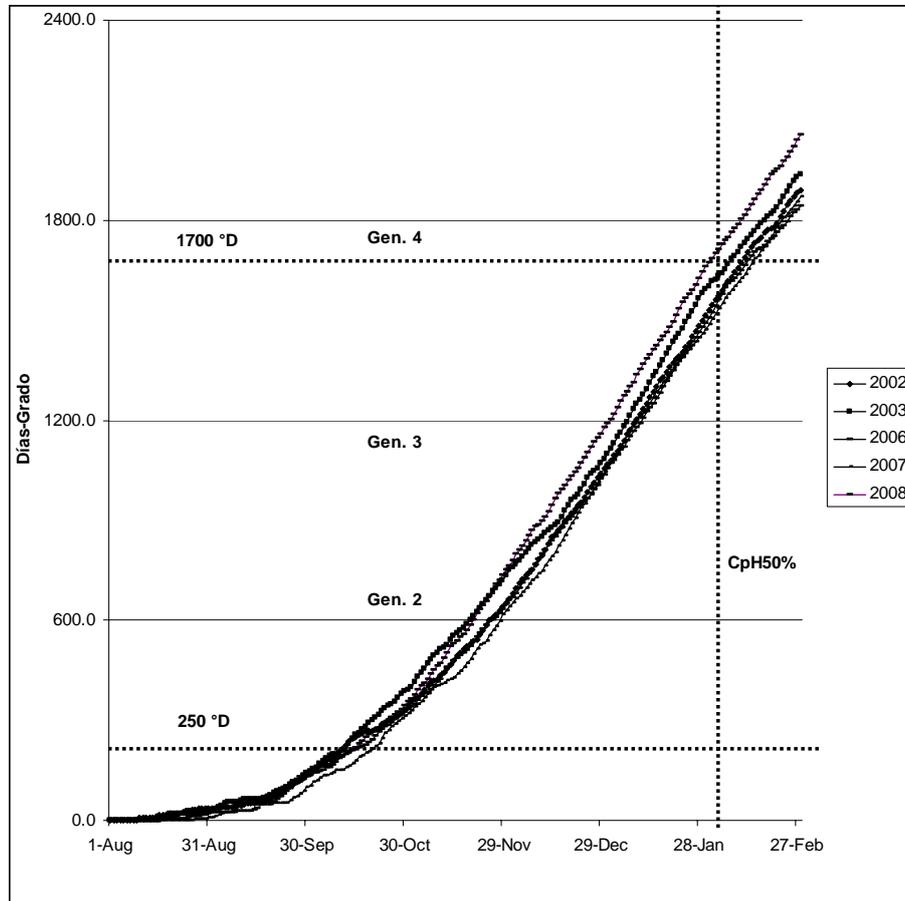
(Riedl y Croft 1978). El estado sensible al estímulo que desencadena la diapausa (fotoperíodo) y el estado en que el insecto entra en diapausa son diferentes. En el caso de la carpocapsa el fotoperíodo crítico debe coincidir con el inicio del estadio larvario sensible al fotoperíodo que es principalmente L3 (Wildbolz y Riggenbach 1969).

Para la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén se ha observado que el  $CPhP_{50}$  es de 13,9 h (Cichón 1999) y que ocurre entre los días 3 (13:59 h) y 8 (13:49 h) de febrero. A partir de allí, la población de larvas reacciona rápida y uniformemente a la disminución de las horas de luz. El número de días que transcurren entre el  $CPhP_{50}$  y el  $CPhP_{90}$  (momento o punto en el que el 90% de las larvas de quinto estadio están inducidas a diapausa), es de 15 a 18 días (Cichón 1999). A fines de febrero, prácticamente el 100% de las larvas de quinto estadio que han formado su capullo, se encontrarán en estado de diapausa.

El  $CPhP_{50}$  puede ser utilizado para determinar el número de generaciones que se desarrollarán en una determinada región y así conocer con anticipación los posibles períodos de riesgo al final de la temporada (Riedl y Croft 1978). Los primeros daños encontrados en frutos se registran a los 250°D. Para que dichas larvas completen su desarrollo y se produzca una segunda generación serán necesarios un total de aproximadamente 600°D (250 + 356). Una tercera generación se solapará con la segunda generación siempre que la suma de unidades fisiológicas de desarrollo al interceptar el "fotoperíodo crítico medio" ( $CPhP_{50}$ ) exceda los 1.150°D (600 + 562). Para una cuarta generación, dicha intersección deberá ubicarse por encima de los 1.700°D (1.150 + 562).

Este análisis permite determinar que en años normales para las condiciones del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, aproximadamente el 80% de las larvas de la segunda generación dará inicio a una tercera generación. Sin embargo, se observan casos particulares como en la temporada 2008/09, en

que la acumulación de unidades fisiológicas de desarrollo alcanzó los 1.700 °D antes de la fecha del CPhP<sub>50</sub>. Es decir, que una pequeña proporción de larvas de la tercera generación siguió su evolución hacia una cuarta generación (Fig. 5).



**Figura 5.** Acumulación de días-grado en diferentes temporadas y número de generaciones de la carpocapsa (Modificado de Cichón y Fernández 1993).

Existiría evidencia de que unas pocas larvas de la carpocapsa son capaces de mantenerse en diapausa durante más de un año, aunque este proceso no ha

sido suficientemente probado (Riedl 1983). Este mecanismo de adaptación y supervivencia de la plaga estaría relacionado con la ocurrencia, en su región de origen, de heladas primaverales y una marcada alternancia (vecería o añerismo) de la producción. De esta manera la plaga tendría la capacidad de sobrevivir a una temporada completa si frutos (alimento) y, a partir de estos individuos, recuperar la población al año siguiente. Esta capacidad de supervivencia podría explicar en parte porqué, luego de realizar un exhaustivo control de altas poblaciones de la plaga en una determinada temporada, a la siguiente, todavía se sigue capturando un número considerable de adultos en las trampas de feromonas (observaciones del autor).

## **2.10. Resistencia al frío**

La supervivencia a bajas temperaturas de los insectos depende mayoritariamente del tiempo de exposición a estas condiciones y de su susceptibilidad al frío. Así, ante la ocurrencia de temperaturas sobre el punto de congelamiento, normalmente no existe mortalidad de los diferentes estados del insecto. Sin embargo, la ocurrencia de temperaturas por debajo de cero grado, es sobrellevada utilizando diferentes estrategias. Existen por tanto insectos “tolerantes al congelamiento” e insectos denominados “no tolerantes al congelamiento” (Bale 1987).

La formación de cristales de hielo dentro de las células, las destruye y si muchas células son afectadas, el insecto muere cuando se descongela. Para evitar que esto ocurra, los insectos utilizan dos tipos de estrategias: *i*) los insectos “tolerantes al congelamiento” producen agentes nucleadores de hielo en la región extracelular. Este hecho favorece la formación de hielo fuera de la célula de una manera controlada y evita la ruptura de los tejidos. Entre los agentes nucleadores de hielo se encuentran lipoproteínas, cristales de fosfato de calcio y cristales de ácido úrico, entre otros. *ii*) la segunda estrategia es utilizada por los insectos “no tolerantes al congelamiento”. En

este caso se producen sustancias anticongelantes como el glicerol y se enmascaran o eliminan los nucleadores de hielo. Estos compuestos anticongelantes modifican la presión osmótica de la hemolinfa y además, estabilizan las proteínas (Chapman 1998, Klowden 2002).

La carpocapsa es un insecto “no tolerante al congelamiento” ya que no posee agentes nucleadores de hielo en los espacios extracelulares, es decir que, si sus células o hemolinfa se congelan, muere. En su defecto, produce una gran cantidad de sustancias anticongelantes como el glicerol, que le permiten resistir temperaturas muy bajas y reducir su punto de congelamiento a un mínimo de  $-37^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura extrema, en la que se forman los cristales de hielo, se denomina “punto de supercongelamiento”. Esta producción de sustancias anticongelantes ocurre en las larvas diapausantes, que es el estado resistente en el que el insecto sobrevive al invierno. El nivel de glicerol en el cuerpo del insecto puede llegar hasta un 20% del peso vivo. Además, como mecanismos alternativos se produce un vaciamiento del contenido del tracto digestivo y una reducción del contenido de agua del cuerpo (Hagley 1977).

## **2.11. Monitoreo**

La necesidad de determinar la densidad poblacional de las plagas mediante métodos sencillos, rápidos, fiables y económicos, ha sido siempre uno de los objetivos perseguidos en el marco del manejo integrado de plagas (MIP). La carpocapsa como plaga de relevancia mundial, no escapa a esta premisa y ejemplo de ello son los numerosos trabajos publicados al respecto desde principios del siglo pasado (Sanderson 1908, Bobb *et al.* 1939, Vakenti y Madsen 1976, Rock *et al.* 1978, Riedl y Croft 1974, Riedl *et al.* 1976, Charmillot 1980, Vermeulen *et al.* 1989).

Para establecer una táctica adecuada para el control de la carpocapsa es necesario en primer lugar, conocer el riesgo potencial (daño económico) que

una determinada población puede causar al cultivo y además, establecer puntos de referencia biológica para predecir otros eventos en el ciclo de la plaga (Vickers y Rothschild 1991).

Las tareas de monitoreo necesarias para la detección temprana de huevos y daños de la carpocapsa requieren de una adecuada capacitación de los productores y/u operarios y consumen un excesivo tiempo y esfuerzo. Traducido esto en términos económicos, esta tarea de monitoreo es poco compatible con las actuales tendencias y márgenes de rentabilidad de la fruticultura moderna, ya que el costo de la mano de obra alcanza prácticamente el 50% de las erogaciones de la producción frutícola (Villarreal y Santagni 2004).

El descubrimiento y síntesis de la feromona de la carpocapsa (Roelofs *et al.* 1971), a permitido superar en gran parte estas dificultades y su uso para el monitoreo de esta plaga se ha generalizado (Howell y Quist 1980, Charmillot 1980, Riedl *et al.* 1986, Gut y Brunner 1996). Las trampas de feromona son fáciles de usar y su aplicación para el monitoreo de la poblaciones de insectos es relativamente económica.

Sin embargo, la utilización de la feromona de la carpocapsa o codlemona para el monitoreo de la plaga se ve restringida en algunos casos por su falta de precisión para detectar adecuadamente diferentes niveles poblacionales de la plaga, ya que son muchos los factores que influyen el nivel de capturas. Entre ellos están los que dependen de la trampa en sí como el diseño, el tipo de emisor, el mantenimiento, la ubicación y la densidad de trampeo; los que dependen de la población del insecto como la densidad de la población, la relación de sexos, la edad de los individuos y por último los dependientes de las condiciones meteorológicas como la temperatura, el viento y la lluvia (Riedl *et al.* 1986).

Por otra parte, a partir de 1990 también se ha desarrollado ampliamente el empleo de la codlemona para el control de la carpocapsa, mediante la utilización de la técnica de confusión sexual (Charmillot 1990, Waldner 1997, Bosch *et al.* 1998, Gut y Brunner 1996, Cichón y Fernández 1999). El uso de la técnica de confusión sexual, plantea a su vez el inconveniente de que se está utilizando la misma molécula química tanto para el control como para el monitoreo, lo que reduce la efectividad de los cebos de atracción.

En una primera aproximación para solucionar este problema se optó por aumentar el contenido de la codlemona en los cebos, originalmente cargados con 1 mg, buscando de esta manera provocar una atracción diferencial respecto de los emisores utilizados para el control. Se utilizaron entonces entre otros, cebos con 10 veces más feromona, denominados 10X (Gut y Brunner 1998).

Sin embargo, tanto los cebos cargados con 1 mg de la codlemona como los que contienen una cantidad superior, presentan un comportamiento errático en determinados momentos críticos de la temporada. Este hecho se conoce como la ocurrencia de “falsos negativos” (Alway 2002, Knight y Light 2005b), es decir, períodos en los cuales no se observan capturas de adultos en las trampas, pero en los que existe una población activa de la carpocapsa. Como consecuencia, ocurre un aumento del porcentaje de frutos dañados que no se correlaciona con la población detectada por las trampas.

Por otra parte, el riesgo de daño de la carpocapsa está dado fundamentalmente por la densidad, actividad y distribución de las hembras al depositar los huevos sobre el hospedero. El monitoreo de los machos con trampas de feromona, por tener éstos la capacidad de aparearse varias veces con distintas hembras (Howell 1991), permite inferir solamente en forma indirecta la actividad de las hembras.

La intención de desarrollar trampas que capturen hembras de la carpocapsa ha sido una constante en los trabajos de investigación con esta plaga, empleándose por ejemplo trampas de luz (Worthley *et al.* 1937), atractivos alimenticios en base a melaza (Bobb *et al.* 1939, Anónimo 1950) y trampas de intercepción (Knight 2000), entre otras.

La captura de hembras permite determinar el estatus de apareamiento de las mismas mediante una simple técnica de disección (Howell *et al.* 1978). Por tanto, un cebo con capacidad de atraer hembras, permitiría inferir la eficacia de la técnica de confusión sexual en huertos frutales tratados con esta herramienta de control, determinar el momento de la emergencia de las hembras, su vuelo y actividades de apareamiento (Light *et al.* 2001).

La búsqueda de compuestos para el monitoreo de la carpocapsa y, especialmente de las hembras, se orientó originalmente hacia volátiles producidos por los frutos de manzano afectados por la plaga. En este marco, el  $\alpha$ -farneseno, entre otros, fue uno de los más estudiados (Wearing y Hutchins 1973, Barnes 1991, Hern y Dorn 2002, Hughes y Dorn 2002, Reed y Landolt 2002). Sin embargo, debido a las características químicas de inestabilidad de este compuesto no pudo ser empleado en condiciones de campo (Cavil y Coggiola 1971).

En los últimos años, varios centros de investigación se han abocado a la búsqueda de otros compuestos que sustituyan o complementen a la codlemona para el monitoreo de la carpocapsa (Light *et al.* 2001, Hern y Dorn 2002, Ansebo *et al.* 2004, Coracini *et al.* 2004, Casado *et al.* 2006). Como resultado de estos trabajos se encuentra hoy en el mercado el (2E, 4Z) decadienoato de etilo, conocido con el nombre común de éster de pera. Este compuesto utilizado solo o en combinación con la codlemona, se presenta como una alternativa viable para determinar la dinámica de vuelo de la plaga y los momentos de riesgo de ataque en huertos frutales con uso de la técnica

de confusión sexual (Ioriatti *et al.* 2003, Il'ichev 2004, Knight y Light 2005a).

El éster de pera es una cairomona atractiva tanto para los machos como para las hembras de la carpocapsa (Light *et al.* 2001). Este aspecto es de gran relevancia ya que permitiría determinar con mayor precisión el inicio del vuelo de las hembras y por consiguiente los momentos de postura de huevos e inicio de los daños en frutos (Knight *et al.* 2002).

Existen diferentes trabajos que indican que el éster de pera captura más machos que hembras durante la primera parte de la temporada (primer vuelo de la temporada) y que en el período más cercano a cosecha esta proporción se invierte (Light *et al.* 2001, Knight y Light 2005a, Knight *et al.* 2005). Sin embargo Il'ichev (2004) reportó capturas de hembras inferiores al 10% durante toda la temporada en Australia. Este patrón de comportamiento de las trampas cebadas con éster de pera, se ha repetido durante varios años también en Argentina (Cichón, com. pers.) y en España (Bosch, com. pers.).

Por otra parte, también se ha podido determinar que la capacidad de captura de las trampas cebadas con cairomona es constante en nogales, baja en perales y variable -mayor número de capturas durante el primer vuelo, decreciendo durante las generaciones restantes- en manzanos (Light *et al.* 2001).

El incipiente uso de las trampas cebadas con éster de pera, sin embargo, plantea diferentes incógnitas en lo que se refiere a los umbrales de control a considerar, al área de servicio de cada trampa, su efectividad respecto de otros cebos actualmente en uso y la relevancia de la captura de las hembras.

Por otra parte, en la búsqueda de ajustar los modelos de predicción de daño, la posibilidad de contar con información precisa sobre la distribución y

densidad de los adultos en general y el estado de apareamiento de las hembras en particular, sería de gran utilidad y permitiría tomar decisiones de aplicación de medidas de control con mayor precisión.

## **2.12. Distribución espacial de los insectos**

El estudio de la dispersión de una población y sus patrones de distribución tiene gran relevancia ecológica. Esta información es útil para determinar los métodos de análisis de los datos, estimar el tamaño de la población, evaluar los programas de monitoreo y hacer inferencias sobre la condición de la población (Southwood 1978).

A través del tiempo han sido propuestos diferentes modelos de distribución para ajustar a datos ecológicos. Como modelo teórico se ha sugerido la distribución *Poisson*, en la que se considera que cada individuo se comporta en forma independiente de los demás y que la probabilidad de encontrar a un individuo en una muestra es la misma para todas las muestras. Esta situación rara vez se da en la naturaleza, ya que normalmente los individuos se relacionan con otros de su misma especie, con otras especies y también interactúan con el ambiente. Por tanto, existe una desviación de la distribución de una población real, respecto de la ideal de *Poisson* (Southwood 1978, Jager y Looman 1995).

Las medidas tradicionales de agregación son función de la relación entre la varianza y la media. Esta relación varianza/media ( $\sigma^2/\mu$ ) nos indica cuánto nos alejamos de la distribución ideal de *Poisson*, en la cual la varianza es igual a la media. Todas las distribuciones contagiosas por ejemplo, poseen en común que la varianza es mayor que la media. Por otra parte, en las distribuciones uniformes como la binomial, la varianza es menor que la media. Por tanto, es necesario determinar la magnitud de esta desviación y el margen de aceptación de la misma.

Para esto se han desarrollado diferentes índices simples como el de David y Moore (1954) o más complejos como el índice de dispersión “ $I_D$ ” que prueba la hipótesis de que la varianza es igual a la media. Si la varianza es igual a la media, la “ $I_D$ ” tiene una distribución aproximada a una  $\chi^2$  con n-1 grados de libertad (Southwood 1978). Otros índices utilizados son la “ $b$ ” de la ley de potencia de Taylor (Taylor *et al.* 1978), el índice de aglomeración media (mean crowding) (Lloyd 1967), “patchiness regression” de Iwao (1968) y Morisita (1962).

Sin embargo, las distribuciones probabilísticas (p. ej. *Poisson*) que permiten calcular medidas de agregación de los individuos, tienen un limitado valor para hacer inferencias sobre la estructura espacial de los datos (Nestel y Klein 1995). Para esto es necesario utilizar métodos que permitan evaluar la correlación espacial y por tanto se introdujeron índices como el coeficiente de Moran, la relación de Geary (Tabla 1) y el estadístico de Cliff-Ord (Griffith 1988, Qi y Wu 1996).

**Tabla 1.** Estadísticos de autocorrelación.

Geary	Moran	Interpretación
$0 < c < 1$	$i > 0$	Existe autocorrelación, los datos son agrupados
$c = 1$	$i = 0$	Independiente, al azar
$c > 1$	$i < 0$	Autocorrelación negativa

En principio, la dificultad que presentan éstos índices es que fueron desarrollados para ser utilizados con datos colectados en parcelas pequeñas y considerando una grilla homogénea. En consecuencia, se ha buscado aplicar otras técnicas de análisis que permitan superar estas limitantes, entre las que se encuentra la geoestadística.

### **2.13. Geoestadística y Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

La geoestadística es una metodología utilizada para la evaluación de recursos, a la que se ha recurrido por más de 40 años en las compañías mineras (Isaaks y Srivastava 1989). Su aplicación a las ciencias biológicas es más reciente (Liebhold *et al.* 1991, Cigliano *et al.* 1995, Nestel y Klein 1995, Brenner *et al.* 1998, Arbogast y Mankin 1998, Ribes-Dasi *et al.* 1998) y se basa fundamentalmente en que en general, los datos colectados en puntos cercanos tienden a ser más similares que los colectados a mayor distancia. Este hecho nos lleva a considerar un modelo de variación espacial que contiene al menos tres componentes: una estructura general, que puede ser definida como una tendencia, una segunda estructura superimpuesta, relacionada con la correlación espacial y con una variación gradual y, finalmente, un tercer componente que consiste en una variación al azar causada por errores de muestreo o variaciones espaciales a escalas menores que la red de muestras (Burrough 2005).

El desarrollo de la geoestadística comienza a partir de la labor de D. G. Krige en 1951, quién trabajando con datos de concentraciones de oro, indicó que las varianzas observadas solo podían tener sentido si se consideraba la distancia entre muestras. Matheron (1963) basándose en estas observaciones desarrolló la teoría de las variables regionalizadas que contiene los principios fundacionales de la geoestadística. Aplicada esta teoría a las ciencias biológicas, la geoestadística considera cada valor muestral (variable aleatoria  $z$ ) asociado a una posición (coordenadas  $x,y$ ) y se vale de esta misma dependencia para hacer inferencias sobre la distribución de las poblaciones, lo que ha permitido resolver el problema de dependencia espacial que comprometía el cálculo de los índices anteriores (Kim *et al.* 2001, Liebhold *et al.* 1993).

Las poblaciones de insectos, ácaros y otras plagas se encuentran distribuidas espacialmente en forma heterogénea, generalmente agregada. La mayoría de los estudios de distribución espacial se realiza a nivel de parcela, para el desarrollo de métodos de muestreo y las herramientas más utilizadas han sido los índices de dispersión (coeficientes de la ley de Taylor, índice de Lloyd, índice de Iwao, Moran, Geary). Estos índices no consideran la ubicación espacial de las muestras y generalmente dependen fuertemente del tamaño de la muestra.

El desarrollo del análisis espacial de las poblaciones de insectos en la Entomología Aplicada, ha abierto nuevas posibilidades para el estudio y el manejo de plagas. Este análisis espacial se basa en la aplicación de dos herramientas que complementan a los índices de dispersión utilizados tradicionalmente y que son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la geoestadística (Liebhold *et al.* 1993).

Los SIG se basan en la utilización de un receptor de señales satelitales o GPS (Global Positioning System) que permite ubicar un punto en el espacio en tres dimensiones (longitud, latitud y altura) y de un programa de ordenador (ArcGis, MapInfo, Geomatics, gvSIG, etc.) que relaciona los datos colectados por el receptor GPS, con otros datos de interés. Los SIG, por tanto, permiten compilar y manipular una gran cantidad de datos espacialmente referenciados (Liebhold *et al.* 1993).

Por otra parte, en forma sintética se puede decir que, haciendo uso de la dependencia espacial que tienen los datos de una muestra, la geoestadística emplea un algoritmo para estimar la densidad de una plaga en lugares no muestreados. Luego, la descripción de la distribución espacial se realiza mediante el uso de mapas con datos interpolados, unidos por iso-líneas. Este análisis puede proveer información crucial para mejorar el uso de técnicas sustentables de control de plagas o de programas de monitoreo, particularmente en el contexto del MIP de precisión (Blom *et al.* 2002,

Brenner *et al.* 1998, Campbell *et al.* 2002, Fleischer *et al.* 1999). Schotzko y Smith (1991) al comparar datos analizados mediante métodos geoestadísticos con otros índices de dispersión (Ley de Potencia de Taylor, Parámetro  $k$  de la binomial negativa, índice de agregación de Lloyd y regresión de Iwao), comprobó que el primero era más efectivo al predecir la distribución espacial tanto de pulgones como de escarabajos.

A partir de la década del 90, la geoestadística ha sido utilizada por diversos investigadores en el desarrollo de programas de monitoreo y control de varias plagas de lepidópteros, coleópteros, áfidos y otros insectos (Liebhold *et al.* 1991, Brenner *et al.* 1998, Ribes-Dasi *et al.* 1998, Schotzko y Quisenberry 1999, Dalthorp *et al.* 1999, Farías *et al.* 2003, García del Moral *et al.* 2004, Trematerra *et al.* 2004, Karimzadeh *et al.* 2011, Comas *et al.* 2012).

Estos estudios pueden realizarse a escala parcelaria o a una escala mayor. A escala de la parcela, conocer la distribución espacial de la plaga permite optimizar la toma de decisiones para su control; a media-gran escala, permite también planificar su muestreo, definir los puntos de muestreo y tomar decisiones en la aplicación de programas regionales de control y evaluación. (Sciarretta *et al.* 2001).

Sin embargo, algunos autores sostienen que la geoestadística se ha desarrollado para el análisis de variables medidas en escalas continuas, que muestran una estructura de covarianza estacionaria en un área amplia (Legendre y Legendre 1998) y, su aplicación a datos discretos (conteos de insectos por ejemplo), datos obtenidos en escalas semi-cuantitativas y/o datos con mayoría de ceros, frecuentemente no es apropiada (Perry *et al.* 1999).

Fleischer *et al.* (1999) por su parte considera que el objetivo del muestreo de las poblaciones debe ser redefinido en el sentido de “mapear” las poblaciones

en vez de estimarlas o categorizarlas en función de la media. Considera además que este enfoque puede reducir notablemente el uso de insecticidas en programas de MIP de precisión.

En este marco se presenta como una alternativa válida para programas de grandes áreas, en los que los SIG y el análisis geoestadístico son complementos necesarios. Se asume que la aplicación de esta metodología permitirá un manejo más eficiente de la gran cantidad de datos generados en estos programas y la mejora del proceso de toma de decisiones para el control de plagas.

### **1.13.1. Conceptos teóricos de geoestadística**

La información respecto a variables biológicas normalmente es fragmentada, por tanto, para poder extraer conclusiones respecto a valores que no han sido medidos, es necesario el desarrollo de un modelo. En biología, la distribución de las especies difícilmente pueda ser explicada por variables completamente aleatorias. Por el contrario, puntos relativamente próximos están relacionados por un complejo conjunto de correlaciones. Hay zonas donde los valores tienden a ser todos altos o todos bajos, pueden existir patrones sistemáticos, agrupaciones, efectos de orientación, entre otros. Sin embargo, observaciones apartadas pueden ser muy diferentes dependiendo de la distancia y en consecuencia los puntos cercanos tienen una varianza pequeña y los puntos distantes una varianza mayor (Brenner *et al.* 1998).

El término variable regionalizada, fue elegido por G. Matheron (1963) para indicar la naturaleza particular de estas variables que combinan aparentemente dos aspectos contradictorios:

1. un aspecto aleatorio, causante de irregularidades locales.
2. un aspecto estructural, que refleja los rasgos globales del fenómeno.

El valor de un atributo generalmente es dependiente de su localización espacial. Estos atributos son llamados variables regionalizadas ya que pueden ser modelados por medio de una función aleatoria que representa su variación natural sobre el espacio a una escala determinada.

Si  $Z(x)$  es el valor de la variable aleatoria  $Z$  en la localidad  $x$ , puede ser expresado como:

$$Z(x) = m(x) + E(x) + \varepsilon$$

Donde  $m(x)$  es una función determinística que describe a  $Z(x)$  en la localidad  $x$ ,  $E(x)$  es un componente que describe la variabilidad local, espacialmente dependiente de  $m(x)$  (llamada la variable regionalizada) y  $\varepsilon$  es un residual o ruido espacialmente independiente con distribución normal.

El modelo probabilístico usual, presupone que toda aleatoriedad es debida a errores (o ruido) y toda la estructura, a una relación funcional denominada tendencia.

En definitiva, si no existiera el ruido o error, el fenómeno conduciría a una interpolación exacta. Sin embargo, en general lo que se incluye dentro del error son características del modelo estudiado y con estructura propia. Incluso, cuando existe una tendencia y el ajuste es bueno, puede darse el caso de que haya información estructural importante en los residuos.

### **1.13.2. Funciones aleatorias**

Al valor de una cierta propiedad observado en cada punto  $x_i$  se lo considera como una realización  $z(x_i)$  de una variable aleatoria  $Z(x_i)$ , cuya media es

$m(x)$ . En los puntos  $x$  donde no existen medidas, los valores  $z(x)$  son desconocidos pero están bien definidos y pueden asimismo, considerarse como realizaciones de las correspondientes variables aleatorias  $Z(x)$ . Matemáticamente a la familia de tales variables aleatorias  $Z(x)$  se las denomina función aleatoria. A la función  $z(x)$  se la denomina realización de la función aleatoria. Una función aleatoria guarda la misma relación con una de sus realizaciones que una variable aleatoria  $X$  con su resultado numérico procedente de una única prueba. Simplemente en lugar de realizar una extracción de un espacio muestral de números, extraemos de un espacio muestral de funciones. Una única extracción determina inmediatamente todos los valores asumidos por la función en todos los puntos.

Una función aleatoria se caracteriza por sus distribuciones de dimensión finita, es decir, por la distribución conjunta de cualquier conjunto de variables  $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_k)$ , para todo  $k$  y todos los puntos  $x_1, \dots, x_k$ . Este modelo probabilístico sería solo una conjetura si no fuera posible reconstruir al menos alguno de sus momentos. Este problema es el que se aborda a través de la inferencia estadística.

La hipótesis habitual en la teoría de las funciones aleatorias es la estacionariedad, es decir, que una función estacionaria es homogénea, autoreproducible en el espacio con la misma estructura en cualquier punto del espacio. Como regla general se espera que al menos la Esperanza de la función  $Z$  en cualquier punto de  $x$  sea una constante  $m$ .

$$E[Z(x)] = m(x) \quad \text{Siendo } m \text{ independiente de } x.$$

También sería deseable que la función de covarianza entre cualquier pareja de puntos  $x$  y  $x+h$  no dependa del punto  $x$ , sino solo del vector  $h$ . La correlación espacial entre dos puntos  $x_1, x_2$  es explicada entonces por la función aleatoria  $h$ , siendo  $h$  la distancia entre  $x_1, x_2$ .

$$E[Z(x) \cdot Z(x+h)] - m^2 = C(h)$$

Desde el punto de vista teórico y práctico es conveniente suponer que solo los incrementos de la función son estacionarios en sentido débil. Esta es la denominada hipótesis intrínseca. Para cualquier vector  $h$  el incremento  $Z(x+h) - Z(x)$  tiene una esperanza y una varianza independientes del punto  $x$ .

$$\begin{cases} E[Z(x+h) - Z(x)] = 0 \\ \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h) \end{cases} \quad \text{Hipótesis intrínseca con media constante.}$$

A la representación gráfica de la función  $\gamma(h)$  se la denomina variograma o semivariograma  $\gamma(h) = \frac{1}{2} \cdot \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)]$ . El variograma es la herramienta básica para la interpretación estructural, así como para la estimación.

En resumen, para poder aplicar el análisis geoestadístico sería deseable que se cumpla tanto el supuesto de que la variable sea regionalizada, como la hipótesis intrínseca.

### 1.13.3. El variograma

El grado de variabilidad de un fenómeno natural está expresado por el variograma, que cuantifica y representa la correlación de la variable.

El variograma de una función aleatoria intrínseca es por definición:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \cdot \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)]$$

Como se ha asumido que  $E[Z(x+h) - Z(x)] = 0$ ,  $\gamma(h)$  es también el cuadrado del valor esperado de la diferencia  $Z(x+h) - Z(x)$ :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \cdot E[Z(x+h) - Z(x)]^2$$

En la práctica, para calcular el variograma experimental a partir de los datos existentes puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

$N$  es el número de pares separados por una distancia  $h$ ,  $x$  y  $x+h$  se refieren a puntos de muestreo en un espacio de  $n$  dimensiones ( $n = 1, 2$  o  $3$ ). Cuando  $n = 2$  (plano),  $x$  se refiere al punto de coordenadas  $(x_1, x_2)$  y  $h$  es el vector de coordenadas  $(h_1, h_2)$ . Por tanto, en un espacio bidimensional el variograma es una función de las variables  $h_1$  y  $h_2$ .

El variograma [o su equivalente, la covarianza:  $\gamma(h) = C(0) - C(h)$ ] es el fundamento de toda la geoestadística. Sirve para modelar la manera en que dos puntos en el espacio o tiempo están correlacionados.

El gráfico formado por los valores de  $\gamma(h)$  representados en función de  $h$ , generalmente presenta el siguiente comportamiento:

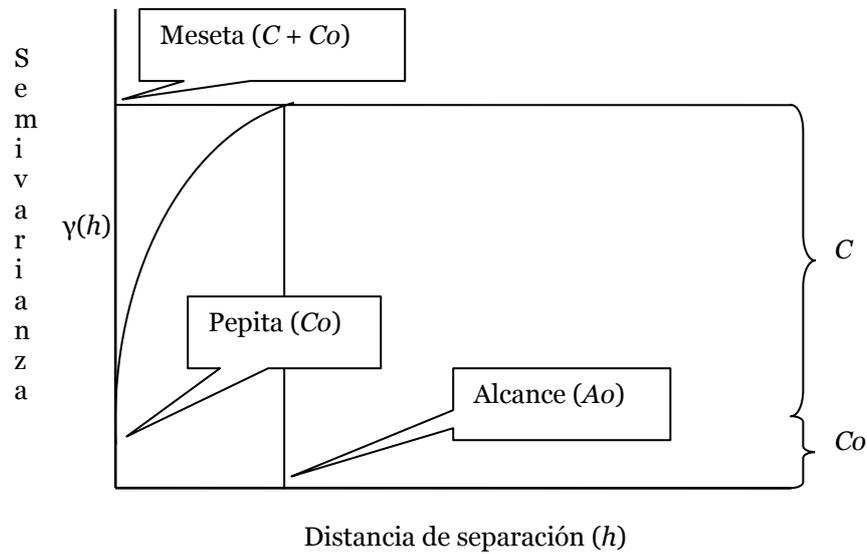
Comienza en 0 (para  $h = 0$ ,  $Z(x) = Z(x+h)$ );

Aumenta con valores de  $h$  crecientes;

Continúa incrementándose o se estabiliza alrededor de un cierto nivel.

Cuando el variograma alcanza un valor límite, significa que existe una distancia a partir de la cual  $Z(x)$  y  $Z(x+h)$  no presentan correlación. A este

punto se lo denomina “meseta” en el eje que mide la semivarianza  $[\gamma(h)]$  y “alcance” en el eje que mide la distancia ( $h$ ).



**Figura 6.** Variograma. Gráfico de la semivarianza  $[\gamma(h)]$  de la muestra (estimada como la mitad del promedio de la diferencia entre los valores de los datos que se encuentran a una misma distancia, elevada al cuadrado) versus la distancia especificada entre pares de datos ( $x$ ) para cada distancia de separación (*Lag*  $h$ ). Con  $Co$ : pepita,  $Ao$ : alcance,  $C = (\text{meseta} - Co)$  y  $(C + Co)$ : meseta indicado en el eje  $\gamma(h)$ . En este ejemplo se ajusta un modelo esférico.

Para calcular el variograma experimental se define la distancia o intervalo entre dos puntos ( $h$ ) y se toman todos los puntos separados por esa distancia. Para cada pareja de puntos se calcula la diferencia de valores de la variable y se eleva al cuadrado. Se suman todas las diferencias elevadas al cuadrado de todos los pares de puntos y se divide por el número de pares. Este es el valor del variograma experimental para una distancia determinada. Lo mismo se

hace con todas las distancias posibles y se grafican los valores obtenidos en función de la distancia. Esta gráfica es el variograma experimental.

Si los datos están espaciados irregularmente, no se pueden obtener pares a una distancia exacta y por tanto se define una tolerancia espacial. Al graficar el variograma, la distancia será la mitad de la distancia entre los pares de valores incluidos en la tolerancia.

El comportamiento del variograma en el origen se denomina efecto “pepita” e indica la discontinuidad cuando  $h$  tiende a cero. Los valores que toma  $\gamma(h)$  en ese punto indican que la variable no es continua y esto se puede deber a:

- a. Presencia de una microestructura, es decir una componente del fenómeno cuyo rango es menor que la menor distancia entre muestras.
- b. Errores de medida.

Los parámetros que definen al semivariograma son:

1. Alcance (*range*): distancia a partir de la cual la variable considerada no tiene ninguna correlación con ella misma (es independiente)
2. Pepita (*nugget*): la estimación del error experimental o variaciones a distancias más pequeñas que la distancia mínima de muestreo.
3. Meseta o cima (*sill*): valor en que la semivarianza se hace constante.

El semivariograma es en definitiva la representación gráfica de la semivarianza contra la distancia. Para su construcción es necesario tomar una muestra de la variable regionalizada. El modelo más usado, especialmente en los sistemas biológicos es el esférico, seguido por el

exponencial. Otros modelos existentes son el Gausiano, lineal, lineal hasta la meseta, etc.

La selección del modelo más apropiado se realiza considerando el parámetro  $k$  que relaciona la pepita con la meseta [ $k = C/(Co+C)$ , con  $C = (\text{meseta} - Co)$  y  $Co = \text{pepita}$ ]. Cuando  $k$  es superior a 0,75 se considera que existe una alta dependencia entre los valores, cuando  $0,5 < k < 0,75$  la dependencia es moderada y cuando  $k < 0,5$  no hay dependencia. El otro parámetro utilizado es la sumatoria de los residuos al cuadrado, debiéndose seleccionar el modelo que presente el menor valor.

El modelo esférico, también conocido como semivariograma teórico de Matheron, tiene la forma:

$$\gamma(h) = S \left( \frac{3}{2} \cdot \frac{|h|}{a} - \frac{1}{2} \cdot \frac{|h|^3}{a^3} \right) \Bigg/ \begin{cases} a = \text{alcance} \\ h < a \end{cases}$$

En el cálculo tradicional se selecciona una dirección que toma todos los pares de puntos en la banda que cubre esa dirección. Con una tolerancia de 90° simplemente se considerarán todos los puntos en todas las direcciones. En este caso se dice que el semivariograma es omnidireccional. Esta aproximación se utiliza cuando se tienen pocos puntos (menos de 500 o 1.000) o cuando se determina que los semivariogramas son similares en todas las direcciones, es decir cuando existe isotropía. En su defecto, se dice que hay anisotropía cuando los variogramas son diferentes en distintas direcciones.

La anisotropía puede ser de tres tipos:

1. Geométrica: cuando el semivariograma construido en diferentes direcciones presenta la misma meseta pero diferentes alcances.

Esto significa que existe una mayor continuidad espacial en la dirección de mayor alcance.

2. Zonal: cuando el semivariograma en distintas direcciones tiene el mismo alcance, pero diferente meseta. Es indicativo de diferentes estructuras.
3. Híbrida: es una combinación de los dos anteriores, con diferente meseta y alcance.

Para detectar la anisotropía se construyen los semivariogramas en todas las direcciones, luego se toma la dirección de mayor variabilidad y la de menor y si el cociente de éstas es igual o cercano a la unidad, se está ante un caso de isotropía. Si el cociente se aleja de la unidad, podemos hablar de anisotropía.

En la construcción del variograma se asume que la media local y la varianza son estables a lo largo de la región que se pretende mapear. Esta situación raramente se da en poblaciones de insectos en las cuales, la varianza tiende a incrementarse con la media. Sin embargo se acepta que al menos la media sea estacionaria.

Asumidas estas limitantes es posible construir el modelo dentro de ciertos rangos, conocer de qué manera están relacionados los puntos entre sí y cual es la relación entre ellos a medida que incrementamos la distancia. Esta información la podemos utilizar para conocer los valores de la variable en lugares no muestreados. Es decir que podemos hacer una interpolación para generar una grilla de valores y finalmente un mapa de iso-líneas.

#### **1.13.4. Interpolación**

El método de interpolación más comúnmente utilizado es el de la distancia inversa ponderada (*DIP* o *IDW*), debido a la sencillez de los cálculos. Sin embargo, la técnica de krigeado ordinario (*KO*) ha probado su utilidad y ventaja sobre la mayoría de los métodos de interpolación, las cuales derivan

de la capacidad de este método para proveer el mejor estimador no sesgado (Olea 1991).

El método *DIP* calcula valores para los sitios no muestreados con base en el promedio ponderado de los valores de sitios cercanos sí muestreados. La ponderación está dada por una función inversamente proporcional a la distancia entre el punto a ser estimado y el punto muestreado (De la Mora *et al.* 2004).

El método *KO* utiliza una combinación lineal de pesos en puntos conocidos  $\sum \lambda_i Y_i$  para estimar el valor en un punto desconocido, donde  $Y_i$  son las variables evaluadas en los sitios de observación e  $\lambda_i$  son los pesos Kriging:

$$\hat{Z}_{KO}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i)$$

donde,  $Z_{KO}(X_0)$  es el valor estimado de *KO* en el sitio no muestreado  $x_0$ ,  $\lambda_i$  es la ponderación para el punto de muestreo  $i$  en el sitio  $x_i$ ,  $Z(x_i)$  es el valor de la variable  $Z$  para un punto de muestreo  $i$ , en el sitio  $x_i$ , y  $n$  es el número de puntos de muestreo. La varianza de *KO* se calcula con la expresión:

$$\sigma_{KO}^2(x_0) = c_{(x_0, x_0)} - \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot c_{(x_i, x_0)} + \mu$$

$\sigma_{KO}^2(x_0)$  es la varianza de *KO* en el sitio no muestreado  $x_0$ ,  $c_{(x_0, x_0)}$  es la covarianza del punto a estimar en el sitio  $x_0$  consigo mismo,  $c_{(x_i, x_0)}$  es la covarianza del punto de muestreo en el sitio  $x_i$  y el punto a estimar en el sitio  $x_0$ . Los valores de la variable  $Z$  se interpolan con base en *KO*, con la finalidad de obtener superficies continuas de valores. Para esto se obtiene el

variograma de los datos, que es la herramienta básica del método *KO* y se utiliza para modelar la correlación espacial entre observaciones. La variación espacial definida por el variograma, se modela para estimar los valores de  $Z^*$  en los sitios que no se muestrearon (Ibarra 2009).

Este método de interpolación se denomina krigado, en honor a D.G. Krige. En el krigado la minimización del error se realiza suponiendo que se conoce el variograma con exactitud, pero en realidad esto raramente ocurre. Si este fuera el caso, existen otros métodos de interpolación más exactos, pero en las condiciones de ajuste del semivariograma, el krigado da lugar a la mejor estimación. Sin embargo es necesario que la distribución de los datos sea normal y esta situación comúnmente no se da con el conteo de insectos y es necesario transformar los datos para normalizarlos. La transformación logarítmica es la única no sesgada que permite la transformación inversa, para la recuperación de los datos originales.

El *KO* es en definitiva una interpolación lineal que asume la inexistencia de tendencia y considera que la variable es estacionaria de segundo orden o al menos intrínseca, es decir que las diferencias sean estacionarias de segundo orden. En el caso de no existir tendencia, cuando la media es estacionaria y cuando se ajusta el modelo adecuado, se obtiene una interpolación exacta.

En el caso de existencia de tendencia, esta se puede tener en cuenta al estimar la propiedad si se aplica el método de Krigado Universal (*KU*). Pero este método tiene el inconveniente que requiere del conocimiento de la función de semivarianza y de la forma de la tendencia, lo cual no es posible conocer *a priori* y en general es un método de prueba y error algorítmicamente complicado.

El krigado puntual considera en el análisis los valores de cada punto de muestreo, minimiza el promedio del cuadrado del error de predicción y por tanto, es considerado el mejor de los predictores lineales no sesgados

(Fleischer *et al.* 1999). El krigado en bloques realiza una interpolación entre áreas que circundan al punto de muestreo y tiende a dar mapas más suavizados.

#### **1.13.5. Metodología práctica para el análisis geoestadístico**

- **Paso 1.** Colecta de datos georeferenciados y ordenamiento.
- **Paso 2.** Análisis estadístico básico. Se obtiene la media, la varianza, desviación estándar, etc.
- **Paso 3.** Prueba de normalidad de los datos. En caso de no ser normales, se procede a la transformación logarítmica de los mismos. Como regla general se asume que si la desviación estándar es mayor que la media, se deben transformar los datos.
- **Paso 4.** Se debe realizar la transformación inversa para el posterior proceso de krigado y obtención del mapa.
- **Paso 5.** Detección de valores atípicos (*outliers*). Éstos pueden ser distribucionales, cuando se alejan del valor medio de la muestra o espaciales, cuando son muy diferentes del valor de sus vecinos. Se deben remover o revisar.
- **Paso 6.** Análisis de tendencia. Cuando se tiene muchos puntos (más de 500 o 1.000) se puede analizar la anisotropía, es decir si existe mayor correlación en alguna dirección en particular.
- **Paso 7.** Construcción del variograma. Se parte del modelo obtenido por defecto y luego se ajusta manualmente (prueba y error). Se deben utilizar no menos de 15 intervalos de distancia y no menos de 30-50 pares de datos por intervalo, para la mitad de la distancia máxima entre puntos.
- **Paso 8.** Se selecciona el modelo que presenta el menor valor de  $k$  (relación entre la meseta y la pepita) y el menor valor de la sumatoria de los residuos al cuadrado ( $RSS$ ).

- **Paso 9.** Se realiza el krigeado ordinario. Se recomienda el krigeado puntual ya que el krigeado en bloques tiende a dar mapas muy suavizados.
- **Paso 10.** Se realiza la validación cruzada que consiste en dejar fuera del krigeado un valor por vez y estimarlo con el resto de los valores vecinos.
- **Paso 11.** Se analizan los valores de  $z$  (reales) y  $z^*$  (estimados), esperando que el valor medio de  $z-z^*$  sea cercano a cero y que la varianza normalizada de la diferencia esté próxima a la unidad.
- **Paso 12.** Se construye el mapa de isolíneas.

#### **1.14. Monitoreo de la carpocapsa en grandes áreas**

Existen a nivel mundial algunas pocas experiencias documentadas de control o monitoreo de la carpocapsa en grandes áreas, con intervención multi-institucional pública-privada, como el CAPM Project en el este de Estados Unidos (Calkins y Faust 2003), el SIT Project en Canadá, (Bloem *et al.* 2007), el Proyecto de Erradicación en Brasil (Kovalesky y Mumford 2007) o el Proyecto Planet Cydia en España (Ribes-Dasi, com. per.). Sin embargo, ninguno de estos programas ha alcanzado las dimensiones del programa implementado en el norte de la Patagonia Argentina, el cual cubre actualmente alrededor de 47.000 ha de frutales de pepita.

En Argentina, luego de varios años de estudio de la técnica de confusión sexual (Cichón y Fernández 2000), el primer área de control se implementó en el año 2003, con la participación de 17 pequeños y medianos productores frutícolas agrupados en 200 ha contiguas. El nivel medio de daño del área, previo a la intervención, se estimaba en 4-6%, con un promedio de 10-12 aplicaciones de insecticidas por hectárea. Luego de tres años de implementación del proyecto se logró disminuir la incidencia de la plaga a

0,06% con un promedio de 5,2 aplicaciones de insecticidas por hectárea (Cichón *et al.* 2006).

La metodología de control utilizada consistió en la aplicación de un modelo sincronizado de control (Byers y Castle 2005) durante la primera generación de la plaga y un modelo de MIP tradicional en base a la captura en trampas de feromonas durante el resto de la temporada de cultivo.

El éxito alcanzado en este proyecto, sirvió como base para el desarrollo del Programa Nacional de Supresión de Carpocapsa (PNSC) (SENASA 2006, FUNBAPA 2006) que se comenzó a aplicar a partir de la temporada 2006/07 en la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. La propuesta de intervención del PNSC incluyó la instalación y monitoreo de una red de trampas para el seguimiento de las poblaciones de la carpocapsa. Se utilizaron trampas con cebos de feromona (codlemone) y cairomona (éster de pera), seleccionadas a partir de los trabajos de investigación implementados durante el desarrollo de esta tesis (Fernández *et al.* 2010) y se capacitó al personal necesario en la identificación y sexado de los adultos de *C. pomonella* (Fernández *et al.* 2006) capturados en las trampas. Estas trampas fueron provistas por el PNSC e instaladas a razón de una por hectárea de cultivo hospedero.

El PNSC proveyó a los productores insumos, asistencia técnica y el monitoreo de la plaga durante tres años, en los que se logró reducir notablemente los niveles de daño de la carpocapsa. Sin embargo, una vez finalizada su intervención, es necesario continuar con el monitoreo de la plaga para detectar y prevenir posibles incrementos en los niveles poblacionales.

Uno de los mayores problemas que enfrenta la implementación de un programa de MIP es el establecimiento de un efectivo sistema de comunicación con los participantes (Travis y Rajotte 1995). En general, los

productores, monitores, asistentes y profesionales reciben información de diferentes fuentes como servicios de extensión públicos, compañías de agroquímicos, empacadores, etc., pero es difícil obtener información en tiempo real del nivel de riesgo en el área de influencia de su propiedad, o en toda la región.

En este contexto fue necesario proponer un sistema de vigilancia y monitoreo a nivel regional que sirva de alerta rápida en casos de producirse focos con altas poblaciones de la carpocapsa. Por tanto, se propuso utilizar la geoestadística para analizar la información sobre la distribución y nivel de población de la carpocapsa, minimizando la utilización de los recursos y capacidades disponibles. Además, se planteó generar un Sistema de Información Geográfica (SIG) regional, mediante la superposición de datos catastrales, ubicación de trampas, mapas de iso-capturas de la carpocapsa e imágenes satelitales.

### **3. OBJETIVOS**



**3.1. Objetivo general (finalidad).** En virtud de la problemática presentada y de las herramientas existentes para su abordaje, la finalidad del presente trabajo de investigación es el estudio y aplicación de metodologías y herramientas que faciliten y tornen más eficiente el monitoreo y el proceso de toma de decisiones en el control de *C. pomonella*, en programas de grandes áreas tratadas con la técnica de la confusión sexual.

Esta finalidad se concreta en los siguientes objetivos específicos:

### **3.2. Objetivos específicos**

**3.2.1 Objetivo específico 1.** Evaluar la fiabilidad de un carácter taxonómico secundario para la diferenciación de sexos en trampas de monitoreo que capturan machos y hembras de la carpocapsa (Capítulo 1).

**3.2.2. Objetivo específico 2.** Comparar la eficacia del éster de pera, utilizado solo o en combinación con la codlemona, en relación a cebos con 1 y 10 mg de la codlemona para la captura de adultos de la carpocapsa en áreas tratadas con la técnica de confusión sexual (Capítulo 2).

**3.2.3. Objetivo específico 3.** Evaluar la factibilidad de empleo de la geoestadística para determinar áreas de riesgo en base a la distribución espacial de la carpocapsa e implementar una estrategia de control en grandes áreas (Capítulo 3).

**3.2.4. Objetivo específico 4.** Conocer la influencia de los vientos predominantes en el área de estudio sobre la captura y distribución espacial de los adultos de la carpocapsa (Capítulos 4 y 5).

**3.2.5. Objetivo específico 5.** Determinar una grilla de monitoreo apropiada para grandes áreas, minimizando el uso de recursos y obteniendo información confiable para la toma de decisiones de control, mediante el uso de la geoestadística y de los sistemas de información geográfica (Capítulo 6).



## 4. CAPÍTULO 1

### **A secondary sexual character for sex determination of *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) adults, trapped with kairomone lures**

Darío Fernández<sup>1</sup>, Dolors Bosch<sup>2,3</sup>, Liliana Cichón<sup>1</sup>, Jesús Avilla<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, Ruta Nacional 22 km 1190, Río Negro, Argentina, [dfernandez@correo.inta.gov.ar](mailto:dfernandez@correo.inta.gov.ar)*

<sup>2</sup>*Department of Crop and Forest Science, Universitat de Lleida, Rovira Roure 191, 25198 – Lleida, Spain, [dolors.bosch@irta.es](mailto:dolors.bosch@irta.es); [jesus.avilla@irta.es](mailto:jesus.avilla@irta.es)*

<sup>3</sup>*Department of Crop Protection, Centre UdL-IRTA de R+D, Rovira Roure 191, 25198 – Lleida, Spain*

Artículo publicado en IOBC/WPRS Bulletin, 30: 273-278.



## Abstract

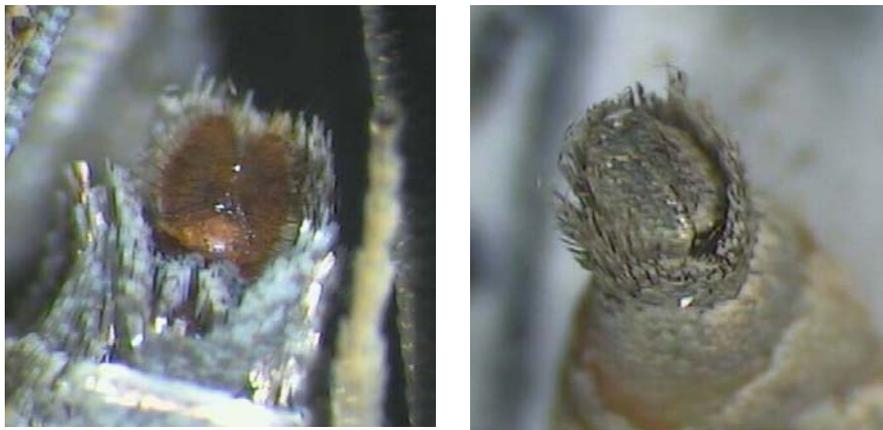
Since the introduction of the pear ester, ethyl (*E,Z*)-2,4-decadienoate, in order to monitor adult *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) populations, a fast, reliable and easy way to discriminate between sexes is imperative. Up to now, the main character used is the structure of the tip of the abdomen. The presence of a rectangular “black spot” in the centre of the under-side of the forewing of males has also been reported. Our objectives were to prove the occurrence of the secondary sexual character named as the “black spot” on the underside forewing of male codling moth, and to detect possible differences in the wing scales present in males and females inside and outside the “black spot” area. Adults from 9 lab and field codling moth populations from Spain, Argentina, Italy and France were collected. All the adults were checked for both characters: the tip of the abdomen and the forewing spot and they were classified as “positive” when the concurrence was confirmed and “negative” when there was not coincidence. The wings were observed under the Scanning Electro Microscope (SEM). More than 1,500 adults were observed. The “black spot” was visible with the naked eye in all but 3 males, but in these cases, it was observed under the stereoscopic microscope. Any female showed the “black spot”. The scales present inside the “black spot” had more rounded edges at the tip compared to those on other areas of the same wing. On the other hand, female scales in different parts of the under-side of the forewing were comparable to those of the male outside the “black spot” area. However, female scales have more acute spikes at the tip. We conclude that the “black spot” in the under-side of the forewing of codling moth males is a reliable character to be used to distinguish between male and females of the species.

**Key words:** *Cydia pomonella*, secondary sexual character, black spot, wing scales.

## Introduction

Since the introduction of the pear ester ethyl (*E,Z*)-2,4-decadienoate (Light *et al.*, 2001) in order to monitor codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) populations, a fast and easy way to discriminate among sexes in the field trials is imperative. Moreover, several other natural compounds are under investigation (Hern and Dorn, 2002; Ansebo *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2005; Casado *et al.*, 2006), hopefully increasing the number of lures able to capture males and females of codling moth in the field.

Usually, the main character used for sex differentiation is the structure of the tip of the abdomen in both sexes. As described by Howel (1991), the obvious external genitalia on a resting female are the large anal papilla, which can be seen as a circular brown spot the width of the terminal segments at the tip of the abdomen (Figure 1 left). The visible external genitalia of the male are a pair of claspers (Figure 1 right). However, these differences are often difficult to observe when moths are glued in trap liners. Moreover, some moth abdomens could be removed by birds, turning the differentiation impossible.



**Figure 1.** Female (left) and male (right) adult codling moth abdomen tips.

The wing coloration and markings, and later the venation, were taken as the basic generic characters for Tortricidae since Linneo. Today taxonomists use mainly the structure of the copulatory apparatus, though secondary sexual characters are often used in certain groups (Fal'kovich, 1962).

Shape and structure of scales, mostly on the forewings, have been used to separate subfamilies, genera, and species of many groups of primitive and advanced Lepidoptera (i.e.: Noctuidae, Parnassinae, Psychidae, Eriocranioidea, Micropterigidae, Mnesarchaeidae y Neotheridae) (Brown, 1983). However, for taxonomic purposes, the most widespread secondary sexual characters in representatives of the Oletreutinae subfamily are the tuft of hairs on the posterior tibia (tibial penicillus), the convolution of the dorsal margin of the hindwing and the glandular abdominal pockets (Fal'kovich, 1962).

Lepidoptera in a wide sense and Oletreutinae in particular, have scent-organs located in different parts of the body, e.g. abdomen, thorax, legs, and wings (Fal'kovich, 1962; Birch and Poppy, 1990). The male scent structures consist of hypertrophied trichogen cells and their associated scent scales or hairs (Birch and Poppy, 1990). Males of many tortricid species have modified scales, pockets, and eversible structures, but little is known about their function (Grant, 1978). In one species, however, *Cydia molesta*, the morphology, behavior and chemical ecology have been studied (Baker and Cardé, 1979; George and Mullins, 1980).

Horak (1991) used the term “sex scale” for modified scales present only in males and presumably associated with pheromone production or distribution, but whose function has not been demonstrated. When these sex scales are present in exposed patches of contrastingly color, are referred as “androconial scales”.

Adult codling moth male has a conspicuous rectangular “black spot” in the center of the under-side of the forewing. This character was mentioned in an early work by Bovey (1966<sup>1</sup>) and later, by other authors (Tremblay, 1986; Howell, 1991; Boselli *et al.*, 2005). If these scales are andocronial or scent scales involved in female attraction remain to be studied, but this “black spot” can serve as a secondary sexual character for sex differentiation (Boselli *et al.*, 2005).

The objectives of this work were to investigate the occurrence of the secondary sexual character named as the “black spot” on the under-side forewing of codling moth males from population of different origin, in order to distinguish between male and females adults, and the occurrence of different scale types in both sexes.

## **Materials and Methods**

Nine codling moth populations were evaluated for the presence of the forewing “black spot” (Table 1): five from Spain (four field populations from the apple and pear growing area of Lleida and one lab population reared since 1993), two from Argentina (one field population from the apple growing area of Río Negro and one lab population reared since 1991), one from France (a lab population from Avignon) and one from Italy (a lab population from Ravenna). Field individuals from Spain came from catches in Combo® lures (from Trecé Inc, USA) or in corrugated cardboards in 2006. Field individuals from Argentina came from catches in corrugated cardboards in 2006.

All the adults were checked for characters at the tip of the abdomen and for the forewing spot and classified as “positive” when the concurrence was confirmed and “negative” when there was not coincidence.

---

<sup>1</sup> Cita agregada al manuscrito final, no incluida en el texto original publicado en IOBC/WPRS Bulletin, 30: 273-278.

In adults from reared colonies, both wings were observed. In field captured adults, the same was done whenever possible. When a reasonable doubt was apparent during the observations, the adults were observed under a binocular microscopy and those not fitting any of the two categories, were set apart and hold for future investigation.

Digital photographs of the wings were captured using a Leica MZ8 stereo microscope and a Sony Hyper HAD – CCD Iris Color Video Camera (Sony, Japan). The wings were also observed under a scanning electromicroscope at the Service of Microscopy of the University of Lleida.

## **Results and Discussion**

A total of 1,520 adults were observed (1,061 males and 459 females) (Table 1). In 99.7% of the males observed the “black spot” on the forewing was visible with the naked eye (Figure 2). Three males presented a light-colored “spot” not seen at first glance. However, the difference among scales was observable with a stereoscopic microscope at 10X magnification. These three males were captured in the field.

The observation of the wings in adults captured in the field was easy, as both wings were never glued completely on the trap liner in such a way that could difficult the differentiation between sexes. Furthermore, the wings normally remained in the trap liner after the body of the insect was removed by a predator. On the other hand, the average size of the black spot (Table 2) indicates that it can be seen in the field without special aids.

The position of the black spot on the under-side of the forewing is coincident with the presence of hair-scales, named cubital pecten (Horak 1991) in the hindwing. If this two structures are related and have functional consequences on the species behavior remained to be investigated.

Besides the color differences among scales present on the “black spot” and those in other areas of the wing, structural variation was also evident as revealed by electronic microphotography. Scales present in the “black spot” area have more rounded edges at the tip compared with those on other areas of the same wing (Figure 3 A, B). On the other hand, female scales in different parts of the under-side of the forewing were comparable to those of the male outside the “black spot” area (Figure 3 D, E, G, H). However, female scales have more acute spikes at the tip. Other differences were found at scale ridges level (Figure 3 C, F, I) were both female scales and male scales outside the black spot area presented conspicuous “holes”, mostly absent in male “black spot” scales.

**Table 1.** Presence (positive) and absence (negative) of the “black spot” detected with the naked eye on codling moths male and female adults from different populations.

Population	Adult Sex			
	Male		Female	
	Positive	Negative	Positive	Negative
Alcarrás (Sp – F)	27	0	0	30
Bellvis (Sp – F)	7	1	0	15
El Poal (Sp – F)	32	1	0	22
Lleida (Sp – F)	619	1	0	59
Lleida (Sp – L)	57	0	0	69
Río Negro (Ar – F)	115	0	0	73
Río Negro (Ar – L)	105	0	0	103
Avignon (Fr – L)	56	0	0	49
Ravenna (It – L)	43	0	0	39
<b>Total</b>	<b>1061</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>459</b>

Sp = Spain; Ar = Argentina; Fr = France; It = Italy.  
F = Field populations; L = Lab populations.

**Table 2.** Average and standard deviation of the maximum length, maximum width, and total area of the male codling moth black spot (n=32).

	<b>Length (mm)</b>	<b>Width (mm)</b>	<b>Area (mm<sup>2</sup>)</b>
Average	2,32	0,56	1,27
St. Dev.	0,28	0,06	0,22

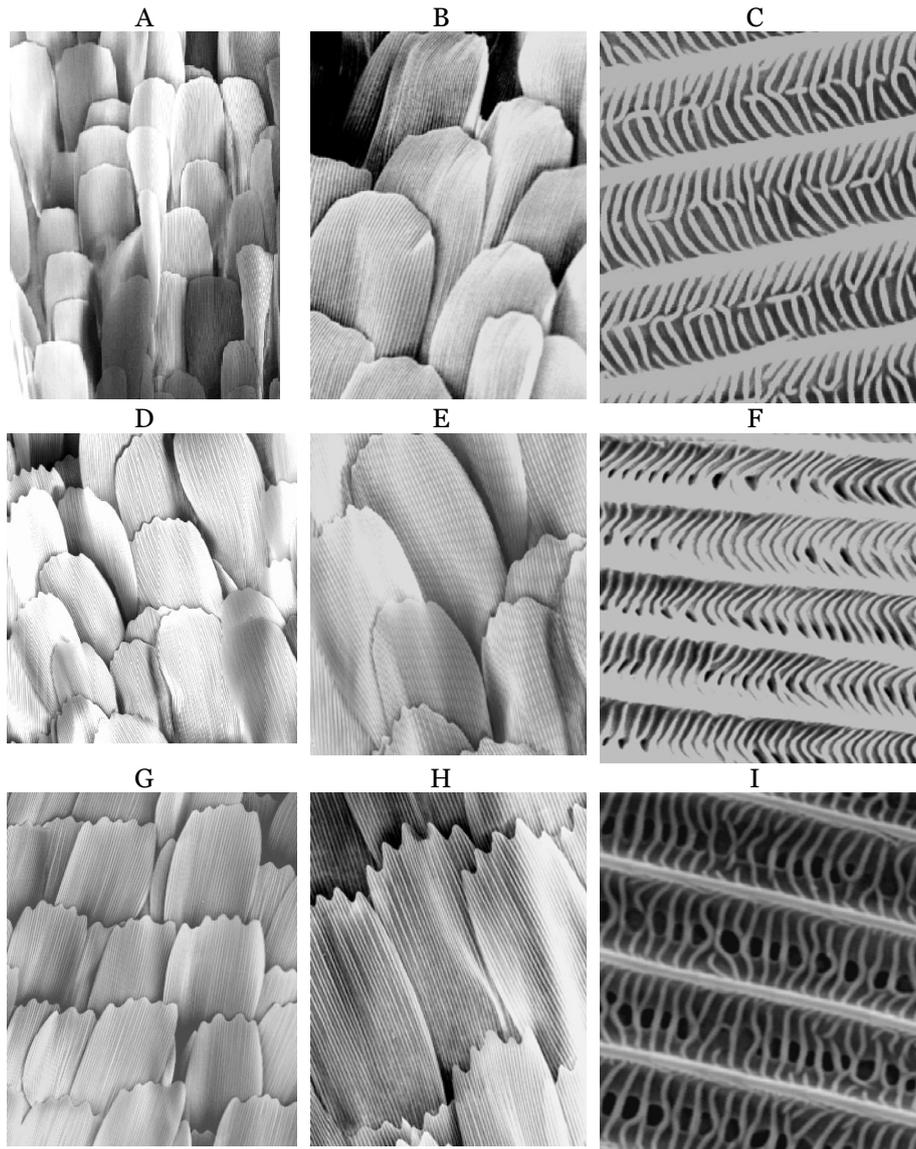


**Figure 2.** Female under-side of the forewing (left) and male under-side of the forewing showing the “black spot” (right).

## **Conclusions**

We conclude that the “black spot” in the under-side of the forewing of codling moth males, is a reliable structure to be used as a secondary sexual character to distinguish between male and females of the species, in both, laboratory reared and field populations. This character can be observed in the field with the naked eye, without using any magnification glass.

If deemed necessary, this character could be double-checked by looking at the tip of the abdomen of the adults, but for those cases when the last character present doubts or its not possible to observe, we can relay on the forewing mark.



**Figure 3.** Electronic microphotography of male and female codling moth forewing scales. A. male black spot scales (200x); B. male black spot scales (500x); C. male black spot scales (10.000x); D. male outside black spot scales (200x); E. male outside black spot scales (500x); F. male outside black spot scales (10.000x); G. female scales (200x); H. female scales (500x); I. female scales (10.000x).

## Acknowledgments

To Xavier Calomarde Burgaleta and Tania Falcioni for their help with electronic microphotography, to Roser Gou for her help with digital photography, to Daniel Casado, Marcela Rodriguez, Benoît Sauphanor and Luigi Caroli for providing adult codling moth for this study.

## References

- Ansebo, L.; Coracini, M.D.A.; Bengtsson, M.; Liblikas, I.; Ramirez, M.; Borg-Karlson, A.K.; Tasin, M. & Witzgall, P. 2004.** Antennal and behavioural response of codling moth *Cydia pomonella* to plant volatiles. *J. Appl. Entomol.* 128: 488-493.
- Baker, T.C. & Cardé, R.T. 1979.** Courtship behavior of the oriental fruit moth (*Grapholita molesta*): experimental analysis and consideration of the role of sexual selection in the evolution of courtship pheromones in the Lepidoptera. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 72: 173-178.
- Boselli, M.; Melandri, M.; Pasqualini, E.; Pradolesi, G. & Zelger, R. 2005.** *Cydia pomonella* Linnaeus (ovvero l'anatema dei pomi) un fitofago chiave di melo e pero. *Agronomica* 3: 26-45.
- Bovey, P. 1966.** Super-famille des Tortricoidea. *En: Balachowsky, A.S. Entomologie Appliquée a l'Agriculture. Tome II. Lépidoptères. Premier Volume.* pp. 456-893. Masson *et* C<sup>ie</sup>. Paris (France). 1057 pp.
- Casado, D.; Gemeno, C.; Avilla, J. & Riba, M. 2006.** Day-night and phenological variation of apple tree volatiles and electroantennogram responses in *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Environ. Entomol.* 35: 258-267.
- Fal'kovich, M.L. 1962.** Use of secondary sexual characters in the classification of palearctic Olethreutini (Lepidoptera: Tortricidae) *Entomol. Rev.* 41: 546-549.

- George, J.A. & Mullins, J. 1980.** Hairpencils on males of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae). Proc. Entomol. Soc. Ont. 111: 21-23.
- Hern, A.S. Dorn. 2002.** Induction of volatile emissions from ripening apple infested with *Cydia pomonella* and the attraction of adult females. Ent. Exp. et Appl. 102: 145-151.
- Horak, M. 1991.** Morphology. In Tortricid pests. Their biology, natural enemies and control. World Crop Pests. Van Der Geest & Evenhuis (eds.), Elsevier, Amsterdam.
- Howell, J.F. 1991.** Reproductive biology. In Tortricid pests. Their biology, natural enemies and control. World Crop Pests. Van Der Geest & Evenhuis (eds.), Elsevier, Amsterdam.
- Light, D.M.; Knight, A.; Henrick Clive, A.; Rajapaska, D.; Lingren, B.; Dickens, J.C.; Reynolds, K.M.; Buttery, R.G.; Merrill, G. & Campbell, B.C. 2001.** A pear derived kairomone with pheromonal potency that attracts male and female Codling moth, *Cydia pomonella* (L.). Naturwissenschaften, 88: 339-342.
- Tremblay, E. 1986.** Entomologia applicata. Vol. 2. Ed. Liguori. Napoli, Italia.
- Yang, Z.; Casado, D.; Ioriatti, C.; Bengtsson, M.; Witzgall, P. 2005.** Pheromone pre-exposure and mating modulate codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) response to host plant volatiles. Agric. Forest Entomol. 7: 231-236.

## 5. CAPÍTULO 2

### **Comparison of lures loaded with codlemone and pear ester for capturing codling moths, *Cydia pomonella*, in apple and pear orchards using mating disruption**

D.E. Fernández<sub>1</sub>, L. Cichón<sub>1</sub>, S. Garrido<sub>1</sub>, M. Ribes-Dasi<sub>2</sub> and J. Avilla<sub>2</sub>

1. INTA Alto Valle. Ruta Nac. 22, Km 1190, General Roca, Río Negro, Argentina.
2. Centro UDL-IRTA de R+D, Universidad de Lleida, Rovira Roure 191, 25198, Lleida, Spain.

Artículo publicado en: *Journal of Insect Science* 10:139 (2010). Available online: [insectscience.org/10.139](http://insectscience.org/10.139). ISSN: 1536-2442.

High definition figures also available on line.



## **Abstract**

Studies were conducted in apple, *Malus domestica* Borkhausen and pear, *Pyrus communis* L. (Rosales: Rosaceae), orchards to evaluate the attractiveness of grey halobutyl septa loaded with 1 (L2) and 10 (Mega) mg of codlemone, 8E,10E-dodecadien-1-ol, 3 mg of pear ester, ethyl (E,Z)-2,4-decadienoate (DA2313), and 3 mg of pear ester plus 3 mg of codlemone (Combo) to adult codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). All studies were conducted in orchards treated with pheromone mating disruption. All four lures were tested on diamond-shaped sticky traps placed in 60 plots of apple and 40 plots of pears in 2003/04, and in 62 plots of apples and 30 of pears in 2004-05. Combo lures attracted significantly more moths (males + females) than all the others in both years. Comparisons among flights showed significant differences mainly for flight 1 and 2, but not always for flight 3. Mega lures provided no significant improvement compared with L2 lures during both seasons regarding the total number of moths. Combo and DA2313 lures attracted fewer females than males during the whole season. For most sample dates, more virgin than mated females were attracted to Combo lures, except during the third flight, and the overall ratio was 60:40, although the difference was not statistically significant. We conclude that the Combo lures are better indicators of codling moth activity in pheromone treated orchards, regardless of pest population level, when compared with similar lures containing codlemone or pear ester alone.

**Key words:** traps, kairomone, monitoring, female capture.

## Introduction

The codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), is an important pest of apple, *Malus domestica* Borkhausen, and pear, *Pyrus communis* L. (Rosales: Rosaceae) orchards worldwide. It is also the key pest in 40,000 ha of pome fruit orchards in the upper valley of Río Negro and Neuquén, Argentina. In this area *C. pomonella* has three generations per year from September to March. A phenology model for the pest based on degree-days (DD) was implemented in 1989, based on a lower threshold of 10° C and a biofix start (August 1st). The first flight started at the end of September (70 DD), and ended in mid December (800 DD). The second flight occurred from mid December (750 DD) to mid February (1,300 DD), and the third flight overlapped the second one starting in February (1,200 DD) and ending in March (2,000 DD).

From its discovery and synthesis, the main component of the codling moth pheromone, 8*E*,10*E*-dodecadien-1-ol, codlemone (Roelofs *et al.* 1971), has been widely used for monitoring (Howell and Quist 1980; Charmillot 1980; Riedl *et al.* 1986) and, during the last two decades, for implementing pheromone-based mating disruption control programs in many countries (Charmillot 1990; Gut and Brunner 1996; Bosch *et al.* 1998; Cichón and Fernández 1999; Witzgall *et al.* 2008). Mating disruption control strategies have two main constraints in order to be successful: the need for low population levels (Moffit and Westigard 1984; Vickers and Rothschild 1991), and the need for a reliable monitoring system (Gut and Brunner 1996).

High population levels can be reduced by management programs that include sanitation combined with the use of conventional or biological insecticides. However, monitoring a pheromone-treated orchard with traps baited with a pheromone lure leads to a generally not reliable monitoring system. Furthermore, damage risk depends mostly upon female activity and distribution, and male capture using codlemone only allows for an indirect

estimation of female occurrence (Howell 1991). The discovery of new compounds that replace or complement codlemone and also attract codling moth females has been reported in recent years (Light *et al.* 2001; Hern and Dorn 2002; Ansebo *et al.* 2004; Coracini *et al.* 2004; Casado *et al.* 2006). One of them, known as “pear ester” [(2*E*, 4*Z*) ethyl decadienonate], is now available and is being used world-wide (Ioriatti *et al.* 2003; Il'ichev 2004; Knight *et al.* 2005a). In this study, we compared different lures loaded with codlemone, pear ester and a combination of both compounds, in order to assess their effectiveness in orchards treated with pheromone-based mating disruption.

## **Materials and Methods**

Studies were conducted in 2003/04 and 2004/05 in one hundred apple ('Delicious', 'Granny Smith', and 'Gala') and pear ('Bartlett', 'D'Anjou, and Packham Triumph') plots that totaled 200 ha. The plots were part of 15 contiguous orchards forming a rectangle of 2,000 m by 1,000 m. Previous harvest damage from codling moth in the test area averaged 4-6%. In 2003 these orchards started a Codling Moth Control Area-wide Project (PAS) situated near Allen, Río Negro, Argentina and all were treated with handapplied pheromone dispensers (Isomate CPlus, Shin-Etsu, [www.shinetsu.co.jp](http://www.shinetsu.co.jp) - 1,000/ha; NoMate CM, Scentry Biologicals, [www.scentry.com](http://www.scentry.com) - 1,000/ha; RAK CP, BASF, [www.basf.com](http://www.basf.com) - 600/ha; CheckMate CM XL1000, Suterra, [www.suterra.com](http://www.suterra.com) - 600/ha) placed in the upper third of the canopy.

Diamond-shaped sticky traps (Pherocon® IIB, Trécé, Inc., [www.trece.com](http://www.trece.com)) baited with grey halobutyl elastomer septa (Trécé, Inc.) were used in all tests to monitor codling moth densities. Lures were replaced in accordance with manufacturer guidelines (every 60 days) and liners were replaced after an accumulation of 30 moths was captured or as needed if the sticky surface was compromised. The mean heights of orchard canopies varied from 2.5 to

5.5 m, and traps were placed on wooden poles  $\approx 0.5$  m below the top of the canopy. Traps were checked weekly and all captured moth were counted, sexed, and the mating status of dissected females (presence or absence of spermatophore in the bursa copulatrix) was determined. Organophosphate and carbamate insecticides were applied at a regular basis (every 14 days) from mid October through harvest during 2003/04. During 2004/05, organophosphate insecticides were applied up to the end of the first flight (mid December) and a 2 moth/trap/week threshold for spraying was used through the remaining of the growing season.

**2003/04.** A study to compare four lure loadings (1 mg of codlemone – L2 lure; 10 mg of codlemone – Mega lure; 3 mg of pear ester – DA2313 lure; 3 mg of codlemone + 3 mg of pear ester – Combo lure); all prepared by Trécé, Inc., was conducted from 10 Oct 2003 to 30 Mar 2004. The lure comparison was replicated one hundred times, with each replicate covering one hectare and separated by at least 70 m from the next one. Treatments within each replicate were placed 25 m apart, in randomized, complete block. Overall the test area was a square-shaped. Sixty replicates were placed in apple and forty in pear plots.

**2004/05.** The 2003/04 study was repeated from 18 Oct 2004 to 30 Mar 2005 in the same test orchards. Ninety-two replicates were placed in 2004-2005, with sixty two replicates placed in apple and thirty in pears.

Unfortunately no 3 mg lures with codlemone were available commercially to be included in the test, but based on McNally and Barnes (1980) we assume that the 3 mg lures under the condition of the test should capture about the same number of moths as the 1 mg lure.

In both seasons each trap was georeferenced with a GPS unit (Garmin eTrex-Vista, Garmin International, Inc. [www.garmin.com](http://www.garmin.com)). All traps with codlemone and pear ester were serviced independently by different

technicians in order to avoid cross-contamination. Technicians wore latex gloves when handling traps.

Damage assessments were done by randomly observing 1,000 fruits per hectare at the harvest of each cultivar. During 2003/04, 40,400 pears and 59,000 apples were evaluated, while 62,800 apples and 32,500 pears were evaluated 2004/05, and codling moth damage (presence or absence) was recorded. The damage was referred as percentage of affected fruit.

**Data analysis.** Data were analyzed separately for each season and aggregated by date. The effect of lure loading was analyzed through a Generalized Linear Model. The random variable showed a Poisson distribution ( $y \approx P oi(\lambda) / \mu = \lambda \geq 0$ ) and the lineal predictor was  $\eta = \alpha + \tau i + \delta j + (\tau\delta)ij + \beta Xk / i$  (lure) = 1,2,3,4; j (apple/pear) = 1,2; k (flight) = 1,2,3. The link function was the canonic (known as logarithmic in this type of distribution). A factorial arrangement for the expected average was proposed, where the considered factors were the above mentioned in the lineal predictor (lure, species, flight). The proportion of each sex in Combo and DA2313 lures within each flight was analyzed. The random variable showed a binomial distribution (male/female) and the lineal predictor was  $\eta = \alpha + \tau i + \delta j + (\tau\delta)ij + \beta Xk / i$ . The link function was the canonical (logit). Within females a similar analysis was carried out in order to compare the proportion of virgin and mated females. The proportion of captured moths was analyzed within each species (pear/apple) in Combo and DA2313 lures in each flight. The random variable showed a binomial distribution (pear/apple) and the lineal predictor was  $\eta = \alpha + \tau i + \delta j + (\tau\delta)ij + \beta Xk / i$ . The link function was the canonical (logit). In order to prove the goodness of fit of the models, the relationship between the deviance or the  $\chi^2$  of Pearson and the degree of freedom from the corresponding model, was used. Since in all the analyzed cases this ratio was higher than 1, an over dispersion parameter was introduced to each model. Differences among factors were

assessed through the Wald (W) statistic (Long 1997; Vaeth 1985) with a 5% significance level ( $p=0.05$ ) (StatSoft 2001).

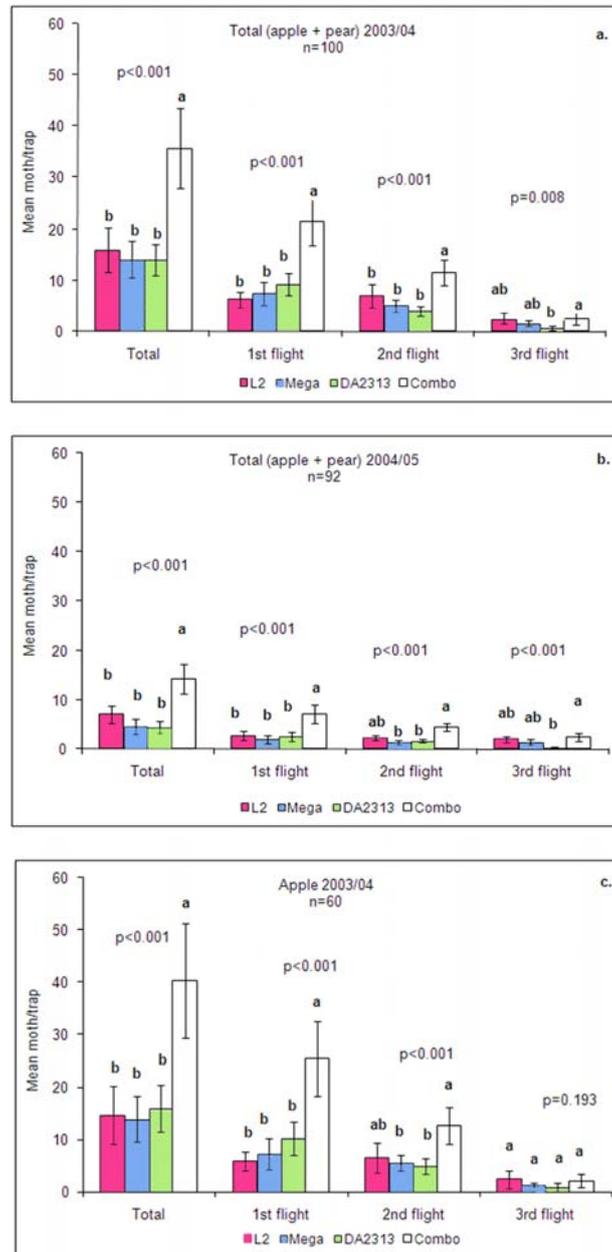
## **Results and Discussion**

**Comparison of different lures.** The background codling moth population was high during the 2003/04 season, but very low during 2004/05 (Figures 1a, 1b). The success of the control measures carried out in 2003/04 clearly affected the 2004/05 population. This situation allowed the evaluation of lures under these two contrasting conditions. Significant differences among lures for the total number of codling moth catches per trap were found in most of the comparisons. In agreement with work done by Light *et al.* (2001), Knight and Light (2005), Knight *et al.* (2005b), lures with the combination of pear ester and codlemone (Combo) attracted significantly more moths (males + females) than the others in both years over the entire season (Figures 1a; 1b).

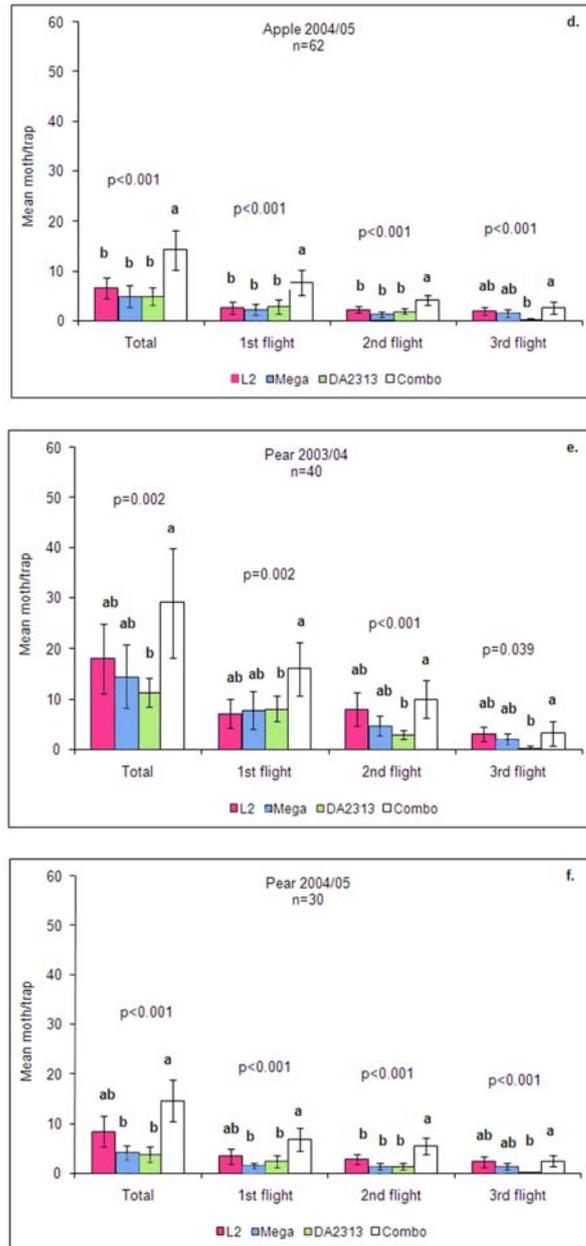
When lure data were analyzed among flights, the difference was significant for flights 1 and 2, but not for flight 3 (Figure 1a) during 2003/04, but was significant for all flights in 2004/05 (Figure 1b), showing a greater difference in a low-pressure situation. Similar results were found by Light *et al.* (2001) with Combo traps in apple orchards, where captures were high during the first flight and lower later in the season. Also in pears, the Combo lure outperformed all other lures for flight 1 and 2 (Figure 1e) even with low populations (2004/05) (Figure 1f). Overall, the performance of the L2 lure was similar to the Mega lure under these conditions. Higher catches with L2 lures by the end of the season could be due to a reduced release rate of mating disruption dispensers, since the response threshold of males is dose dependent (Witzgall *et al.* 2008) and also, high pheromone loads (10X) could have a reduced attraction under this scenario (McNally and Barnes 1980). Pear ester alone was comparable to L2 and Mega lures during the first and second flight, but attracted very few moths during the third flight

(Figures 1b; 1c; 1d). Mega lures showed neither a significant improvement compared with L2 lures during both seasons regarding the total number of moth, nor improvement compared to DA2313 lures.

A false negative record occurs when, given a certain level of a population, no moths are captured; consequently no action is taken, leading to fruit damage. Given a certain population present in one area, it is assumed that all lures are able to detect this population. In consequence, all lures should register approximately the same number of positive (captures) and negative (zero) records, independently of the number of moth captured. Overall Combo lures had 1,085 negative records that were 26.9% less than DA2313 (1,459), 26.9% less than L2 (1,485) and 25.6% less than Mega (1,484) in 2003/04. In 2004/05 Combo lures had 1,605 negative records that were 17.3% less than DA2313 (1,933), 12.4% less than L2 (1,832) and 17.0% less than Mega (1,941). These data suggest that the Combo lure was more reliable to detect a given population of moths present in an area than all of the other lures.

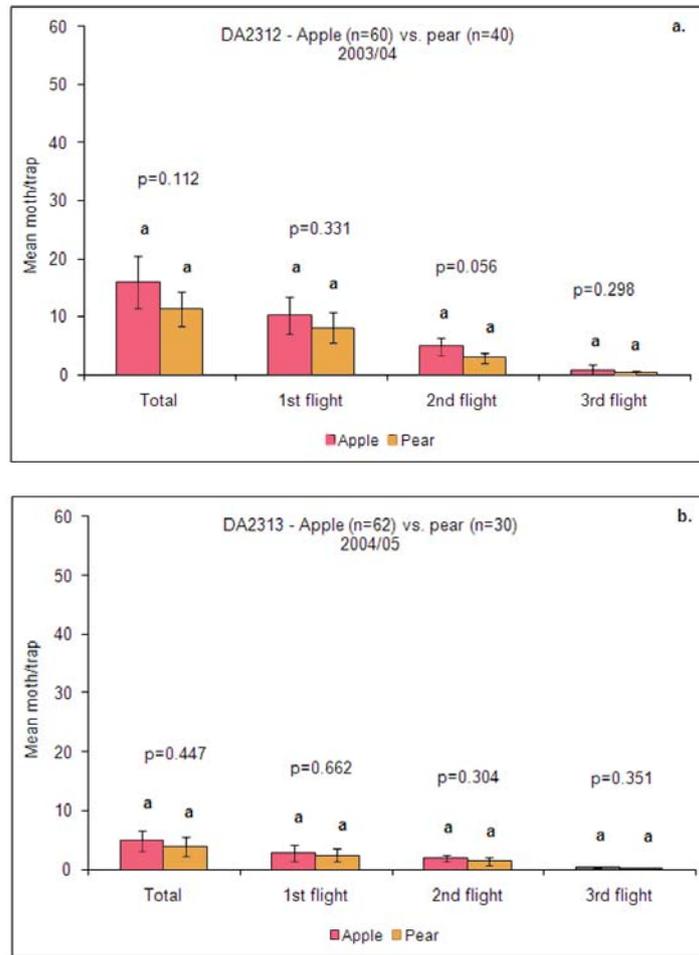


**Figure 1.** Mean ( $\pm$  SE) catches of codling moth in traps baited with L2, Mega, DA2313 and Combo lures in apple and pear orchards during 2003/04 and 2004/05. Means with the same letter for each flight are not significantly different using the Wald statistic with 5% significance level.

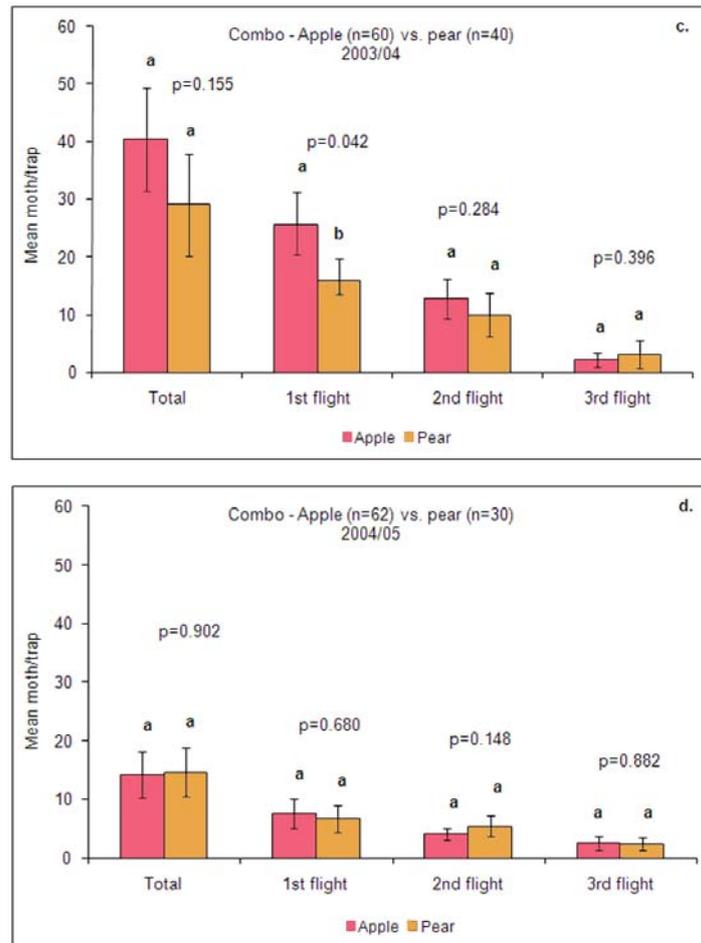


**Figure 1 (cont.).** Mean ( $\pm$  SE) catches of codling moth in traps baited with L2, Mega, DA2313 and Combo lures in apple and pear orchards during 2003/04 and 2004/05. Means with the same letter for each flight are not significantly different using the Wald statistic with 5% significance level.

**Comparison of apple vs. pears.** Light *et al.* (2001) reported that pear ester attraction was constant in walnut, low in pear and variable in apple orchards (high during the first flight and decreasing later in the season). Our results confirmed these findings for apple, but the same trend was also noted in pear.



**Figure 2.** Mean ( $\pm$  SE) catches of codling moth in traps baited with DA2313 and Combo lures in apple and pear orchards during 2003/04 and 2004/05. Means with the same letter for each flight are not significantly different using the Wald statistic with 5% significance level.



**Figure 2. (cont.).** Mean ( $\pm$  SE) catches of codling moth in traps baited with DA2313 and Combo lures in apple and pear orchards during 2003/04 and 2004/05. Means with the same letter for each flight are not significantly different using the Wald statistic with 5% significance level.

DA2313 and Combo lures both caught more moths in apple orchards than in pear orchards in both seasons, but these differences were not significant overall or for any of the individual flights (Figures 2a; 2b; 2c), except for the Combo lure in the first flight of 2003/04 (Figure 2c). Knight and Light (2001) and Il'ichev (2004) suggested that competition with orchard pear

volatiles reduces the efficacy of pear ester later in the season, but our results do not support this hypothesis. However, the distribution and proximity of apple and pear plots and relative moth population, could account for the lack of the differences.

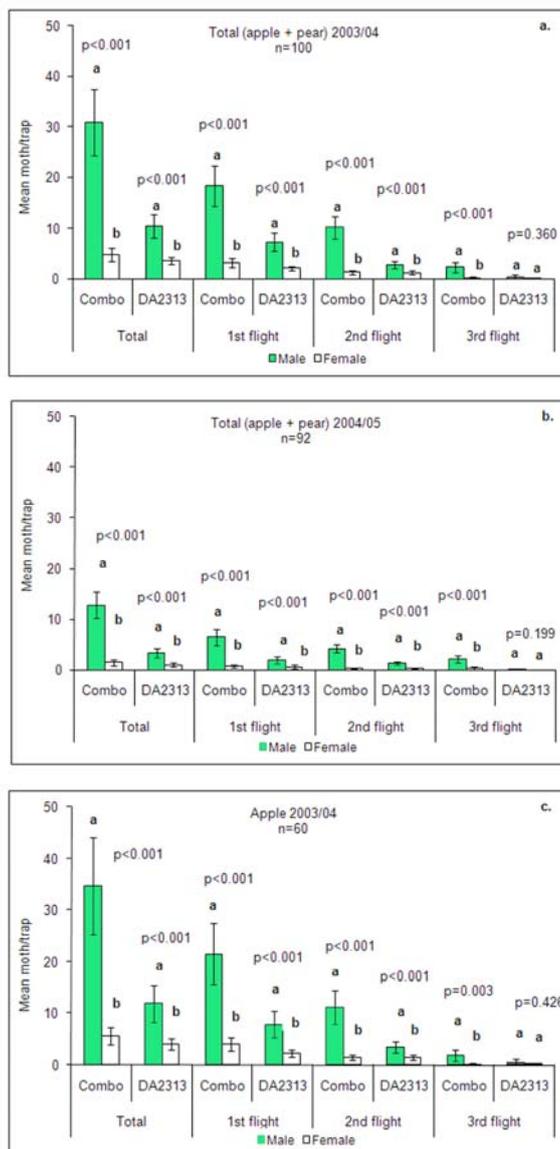
**Sex ratio.** Several previous studies have found that the pear ester attracted more males than females during the first flight of *C. pomonella*, and fewer males than females close to harvest (Light *et al.* 2001; Knight and Light 2005; Knight *et al.* 2005b). However, in this study we have confirmed findings by Il'ichev (2004) in Australia, and D. Bosch (Universitat de Lleida, Spain, personal communication) in Spain, that both Combo and DA2313 lures attracted fewer females than males during the whole season in apple and pear (Figures 3a; 3b; 3c; 3d; 3e; 3f).

Males attracted by Combo lures represented 86 to 89% of the total number of moths, while with DA2313 it was 74 to 76%. Also, Combo lures almost always attracted more males than DA2313 (Figure 3). Data suggest that there is a synergistic effect between the sex pheromone and the pear ester, towards attracting males. On the other hand, the number of females attracted by both lures in apple and pear was similar.

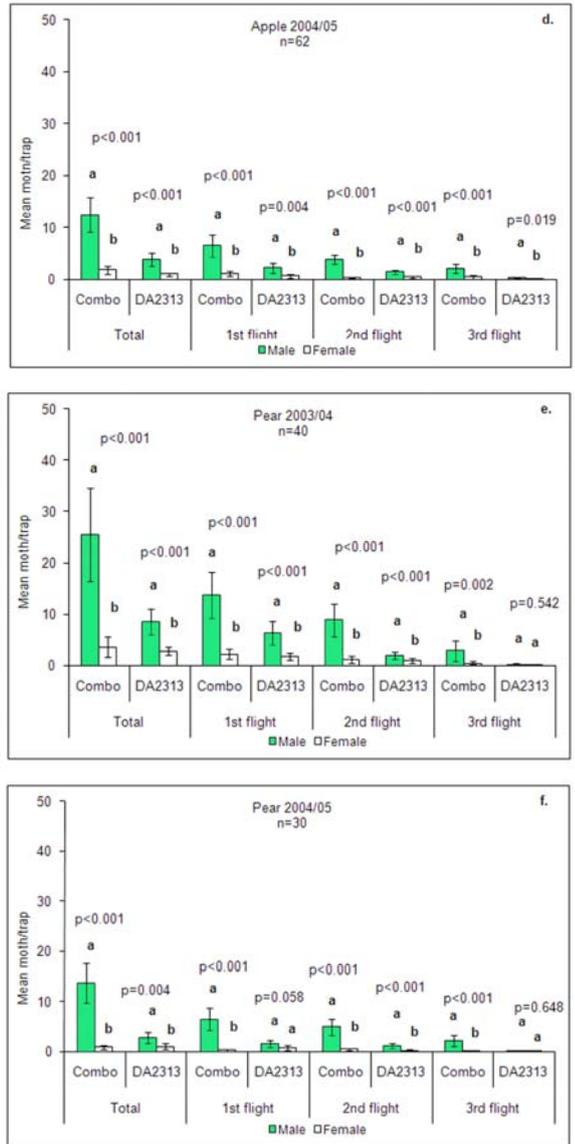
**Mated status.** Differences between virgin and mated females were not significant due mainly to high variation of the data and very low number of moths (Figures 4a; 4b; 4c; 4e), but the overall data show that 60% of the females captured were virgin and 40% mated. Combo lures showed a slight trend toward attracting more virgin females than DA2313, but due to the low number of females captured, significant differences were not found. Also DA2313 lures attracted slightly more mated females during the third flight in apple and pear, and first flight in pear in 2003/04. These results add more variability to the data, making it difficult to detect significant differences.

Previous studies with interception (Knight 2000) and light (Howell and Britt 1994) traps found that 50 to 60% of the females captured in pheromone-disrupted orchards were mated. Our results confirmed previous findings by Knight and Light (2005), which suggested that the percentage of females attracted to DA2313 and Combo lures reported as unmated varied between 40 to 60%. Mating disruption is supposed to prevent mating, but despite the presence of high proportions of mated female codling moths, the control under field conditions can be successful. Other mechanisms such as delayed mating as suggested by Vickers (1997) and Jones *et al.* (2008) could account for most of the mating disruption success.

The increase in the mated female proportion by the end of the season probably indicates a reduction in the emission rate of the dispensers. If these data accurately reflect a change in pheromone emission rates, the DA2313 and Combo lures could also help to provide relevant information about mating disruption performance. This needs to be confirmed with further studies.



**Figure 3.** Mean ( $\pm$  SE) catches of male and female codling moth in traps baited with DA2313 and Combo lures in apple and pear orchards during 2003/04 and 2004/05. Means with the same letter for each flight are not significantly different using the Wald statistic with 5% significance level.

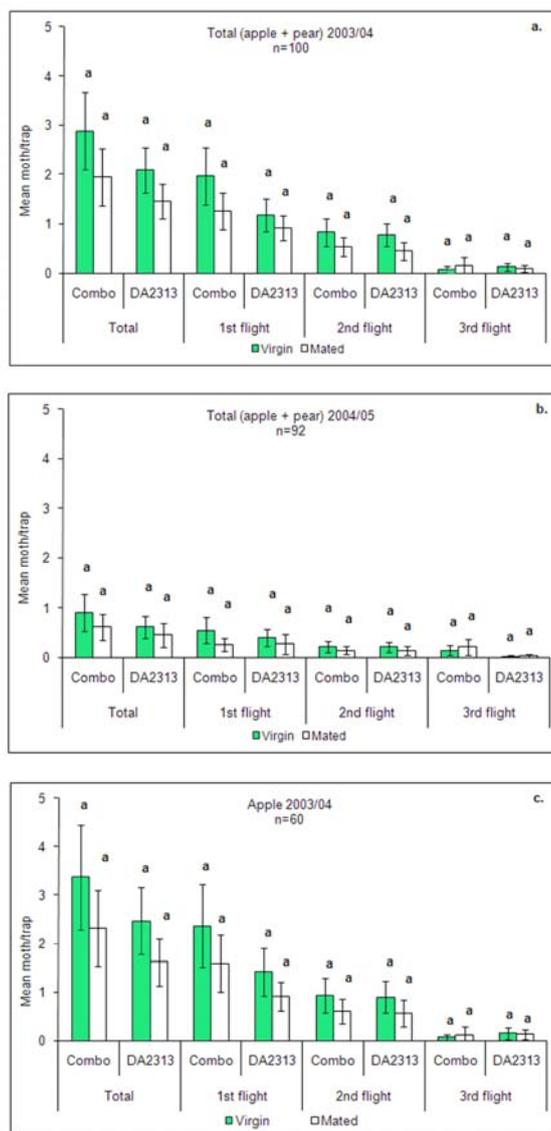


**Figure 3 (cont.).** Mean ( $\pm$  SE) catches of male and female codling moth in traps baited with DA2313 and Combo lures in apple and pear orchards during 2003/04 and 2004/05. Means with the same letter for each flight are not significantly different using the Wald statistic with 5% significance level.

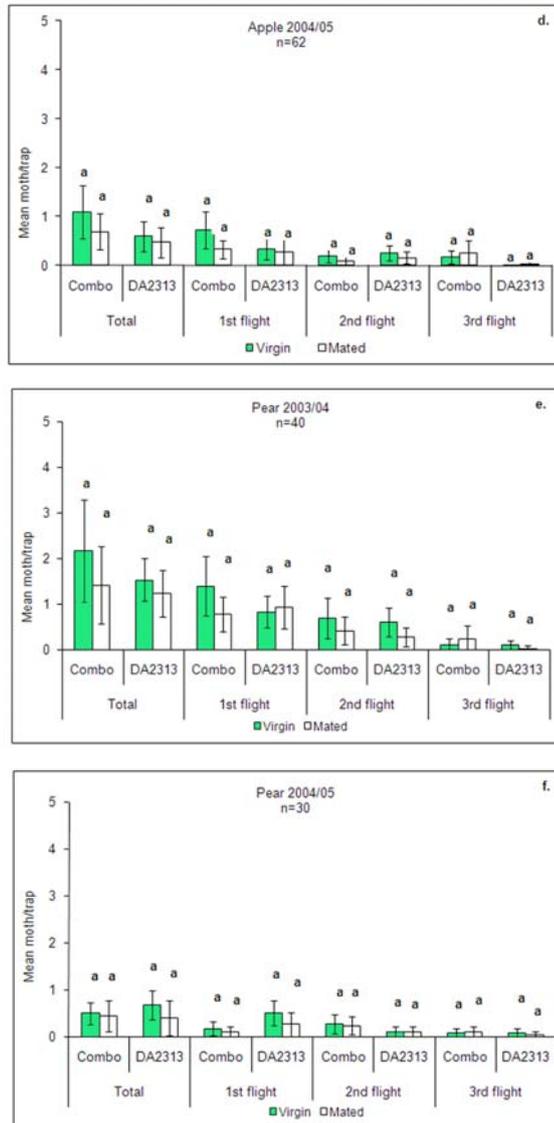
**Fruit damage.** Unfortunately, due to the sanitation or “clean up” strategies applied to the whole area, it was not possible to relate the accumulated captures to damage, since the percentage of affected fruits at harvest was very low in both seasons (0.16% in 2003/04 and 0.19% in 2004/05). Most of the damage was found in apple plots, while pear damage was almost negligible in both seasons. Earlier harvest time in pear and other biotic and abiotic factors were likely to be the reason for these differences.

In 2004/05, moth densities were relatively low compared to 2003/04, however damage levels increased slightly. Standard spray programs were followed during the first generation, but subsequent sprays were based on an action threshold of 2 moths/trap/week. The use of the action thresholds may be a key factor producing the increase in damage, but this needs further analysis and a long-term study.

We consider that most of the damage could be explained in some cases by poor spray application (timing and volume) and also could be related to immigration of moths from adjacent abandoned, or partially abandoned orchards. The increase in damage along orchard borders was reported by Brunner (2006) and Gut and Brunner (1998). These authors speculated that the increase in moth activity measured along orchard borders was a result of lower pheromone concentration in those areas.



**Figure 4.** Mean ( $\pm$  SE) catches of virgin and mated female codling moth in traps baited with DA2313 and Combo lures in apple and pear orchards during 2003/04 and 2004/05. Means with the same letter for each flight are not significantly different using the Wald statistic with 5% significance level.



**Figure 4 (cont.).** Mean ( $\pm$  SE) catches of virgin and mated female codling moth in traps baited with DA2313 and Combo lures in apple and pear orchards during 2003/04 and 2004/05. Means with the same letter for each flight are not significantly different using the Wald statistic with 5% significance level.

## **Final remarks**

Even while some pest Management professionals propose that the best monitoring system is the one that provides the most reliable estimate of the population, not necessarily the greatest number of insects, it is essential to have at least adequate numbers upon which to base a decision (Gut *et al.* 2004). This is important for the fruit industry in some countries like Argentina, which relies on export markets like Brazil where the codling moth is a quarantine pest. In this case, Combo lures should provide more reliable data upon which to base treatment decisions relative to other lures. However, even with the increase in codling moth captures noted with Combo lures, the improvement was still not enough to avoid the occurrence of false negative data (damage detection despite no trap captures). The occurrence of false negatives can be reduced by developing a better attractant, like the Combo lure, but also by proper trap and lure placement and maintenance. Traps, by themselves, are not reliable enough to completely replace the IPM scout, as visual observations by trained employees continues to remain a critical component to codling moth monitoring.

The new Combo lure technology represents an improvement over previously available monitoring systems; however several nonresolved issues should be addressed with future research. Trap densities, action thresholds, and the relevance of female capture data are important issues to investigate, as well as the interaction among plant volatiles and pheromones (Witzgall *et al.* 2008). Furthermore, female distribution, distance of flight, and other field behavior have been very difficult to measure due to the lack of effective attractants (Keil *et al.* 2001), but pear ester may facilitate these types of studies (Light *et al.* 2001).

We conclude that Combo lures performed better than the other three lures under this test situation, providing more reliable information about codling moth populations in pheromone-disrupted orchards.

## Acknowledgements

We thank Bill Lingren and Trécé Inc. for providing traps and lures. Also, special thanks to Hugo Lorenzo, Hernán Cancio, Marcelo Muñoz, Roberto Gómez, Demetrio Ibarra and Sebastián Muñoz for their help with field work, Fernanda Menni for statistical guidance, David Granatstein and anonymous reviewers of the English version of the manuscript. INTA (Project 1472) and Centro Regional Patagonia Norte, provided partial funding for this research.

## References

- Ansebo, L., Coracini M.D.A., Bengtsson M., Liblikas I., Ramirez M., Borg-Karlson A.K., Tasin M., Witzgall P. 2004.** Antennal and behavioural response of codling moth *Cydia pomonella* to plant volatiles. *Journal of Applied Entomology* 128: 488-493.
- Bosch, D., Burballa A., Sarasúa M.J.S., Hernandez J.A. 1998.** Control de carpocapsa (*Cydia pomonella*) mediante confusión sexual y fenoxycarb. *Fruticultura Profesional* 99: 52-62.
- Brunner, J.F. 2006.** Pheromone as control tactics for codling moth. WSU-IFAFS-RAMP Workshop. Available online at: <http://entomology.tfrec.wsu.edu/stableipm/WorkshopPDFs/cmpheromone.pdf>
- Casado, D., Gemeno C., Avilla J., Riba M. 2006.** Day-night and phenological variation of apple tree volatiles and electroantennogram responses in *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology* 35: 258-267.
- Cichón, L., Fernández D. 1999.** La técnica de la confusión sexual en carpocapsa. Desarrollo en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. In: *Fruticultura Moderna. 9 años de cooperación técnica 1990-1999. Parte 2, Cap. 4, pp. 88-95.* INTA-GTZ.

- Coracini, M., Bengtsson M., Liblikas I., Witzgall P. 2004.** Attraction of codling moth males to apple volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 110: 1-10.
- Charmillot, P.J. 1980.** Development of a warning system for the codling moth: role of warning services and the growers. *Bulletin OEPP* 10: 231-239.
- Charmillot, P.J. 1990.** Mating disruption technique to control codling moth in western Switzerland. In: Ridgeway RL, Silverstein RM, Inscoc MN, Dekker M, editors. *Behaviour Modifying Chemicals for Insect Management: Application of Pheromones and Other Attractants*, pp. 165-182. Dekker.
- Gut, L.J., Brunner J.F. 1996.** Implementing codling moth mating disruption in Washington pome fruit orchards. Tree Fruit Research and Extension Center Inf. Series N°1. Washington State University, Wenatchee, WA.
- Gut, L.J., Brunner J.F. 1998.** Monitoring codling moth in pheromone-treated orchards: comparison of trap designs. Proceedings Western Orchard Pest and Disease Management Conference 72, pp. 20-21. Portland, OR.
- Gut, L.J., Stelinski L.L., Thomson D.R., Miller J.R. 2004.** Behavior modifying chemicals: Prospects and constraints in IPM. In: Koul O, Dhaliwal GS, Cuperus GW, editors. *Integrated Pest Management: Potential, constraints and Challenges*. Chapter 5, pp. 73- 122. CABI Publishing.
- Hern, A., Dorn S. 2002.** Induction of volatile emissions from ripening apple infested with *Cydia pomonella* and the attraction of adult females. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102: 145-151.
- Howell, J.F. 1991.** Reproductive biology. In: Van Der Geest LPS, Evenhuis HH, editors. *Tortricid pests. Their biology, natural enemies and control*. pp. 257-174. Elsevier.

- Howell, J.F., Quist J.A. 1980.** Codling moth: Effect of post emergence and location on the predictive value of pheromone traps. USDA Science and Education Administration, ARRW-13.
- Howell, J.F., Britt R. 1994.** IPM changes associated with using mating disruption to control codling moth in commercial apple production. *Proceedings Washington Horticultural Association* 90: 258-264.
- Il'ichev, A.L. 2004.** First Australian trials of ethyl (2*E*, 4*Z*)- 2,4-decadienoate for monitoring of female and male codling moth *Cydia pomonella*, (Lepidoptera: Tortricidae) in pome fruit orchards. *General Applied Entomology* 33: 15-20.
- Ioriatti, C., Molinari F., Pasqualini E., De Cristóforo A., Schmith S., Espinha I. 2003.** The plant volatile attractant ethyl (E,Z)- 2,4-ethyldecadienoate (DA2313) for codling moth monitoring. *Bulletin Zoologie Agricole* 35: 127-137.
- Jones, V.P., Wiman N.G., Brunner J.F. 2008.** Comparison of delayed female mating on reproductive biology of codling moth and obliquebanded leafroller. *Environmental Entomology* 37: 679-685.
- Keil, S., Gu H., Dorn S. 2001.** Response of *Cydia pomonella* to selection on mobility: laboratory evaluation and field verification. *Ecological Entomology* 26: 495-501.
- Knight, A.L. 2000.** Monitoring codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with passive interception traps in sex pheromone-treated orchards. *Journal of Economic Entomology* 93: 1744-1751.
- Knight, A.L., Light D.M. 2001.** Attractants from bartlett pear for codling moth *Cydia pomonella* (L.), larvae. *Naturwissenschaften* 88: 339-342.
- Knight, A.L., Light D.M. 2005.** Factors affecting the differential capture of male and female codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in traps baited with ethyl (E,Z)-2,4,-decadienoate. *Environmental Entomology* 34: 1161-1169.
- Knight, A.L., VanBuskirk P., Hilton R., Zoller B., Light D.M. 2005a.** Monitoring codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in four cultivars of pear. *Acta Horticulturae* 671: 59-64.

- Knight, A.L., Hilton R., Light D.M. 2005b.** Monitoring Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Apple with Blends of Ethyl (*E,Z*)-2,4-Decadienone and Codlemone. *Environmental Entomology* 34: 598-603.
- Light, D.M., Knight A.L., Henrick C.A., Rajapaska D., Lingren B., Dickens J.C., Reynolds K.M., Buttery R.G., Merrill G., Campbell B.C. 2001.** A pear derived kairomone with pheromonal potency that attracts male and female Codling moth, *Cydia pomonella* (L.). *Naturwissenschaften*, 88: 339-342.
- Long, J.S. 1997.** Regression models for categorical and limited dependent variables. *Advanced Quantitative Techniques in the Social Sciences*, Series 7. SAGE.
- McNally, P.S., Barnes M.M. 1980.** Inherent characteristics of codling moth pheromone traps. *Environmental Entomology* 9: 538-541.
- Moffit, H.R., Westigard P.H. 1984.** Suppression of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) population on pears in southern Oregon through mating disruption with sex pheromone. *Journal of Economic Entomology* 77: 1513-1519.
- Riedl, H., Howell J.F., McNally P.S., Westigard P.H. 1986.** Codling moth management, use and standardization of pheromone trapping systems. Bulletin 1918, University of California, Berkeley.
- Roelofs, W.L., Comeau A., Hill A., Milicevic G. 1971.** Sex attractant of the codling moth: characterization with electroantennogram technique. *Science*, 174: 297-299.
- StatSoft, Inc. 2001.** Statistica. Data Analysis Software System, version 6. Available online at: [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Vaeth, M. 1985.** On the Use of Wald's Test in Exponential Families. *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique* 53(2): 199-214.
- Vickers, R.A. 1997.** Effect of delayed mating on oviposition pattern, fecundity and fertility in codling moth, *Cydia pomonella* (L.)

(Lepidoptera: Tortricidae). *Australian Journal of Entomology* 36: 179-182.

**Vickers, R.A., Rothschild G.H.I. 1991.** Use of sex pheromone for control of codling moth. In: Helle W, Editor. *Tortricid Pests: Their Biology, Natural Enemies and Control*. pp. 339-354. Elsevier.

**Witzgall, P., Stelinski L., Gut L., Thompson D. 2008.** Codling moth management and chemical ecology. *Annual Review of Entomology* 53: 503-522.

## **6. CAPÍTULO 3**

**Comparison of different theoretical control strategies using *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) trap data to decide insecticide applications in a mating disruption area-wide control program**

**D. FERNANDEZ<sup>1</sup>, M. RIBES-DASI<sup>2</sup> AND J. AVILLA<sup>2</sup>**

1 - INTA Alto Valle. CC 782, General Roca, R.N. (Argentina).

2 - Universidad de Lleida, Rovira Roure – 191, 25198 – Lleida (Spain).



## **Abstract**

Studies were conducted in 277 ha of apple (*Malus domestica* Borkhausen) and pear (*Pyrus communis* L.) orchards. Trap data of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) during a complete season was used to evaluate the theoretical application of different models of control in an area wide mating disruption program. Complete coverage (Model A) was compared to traditional IPM (Model C) and a risk-area model based on the spatial distribution of adult moth (Model D). The fourth model was the actually applied by the growers in the area (Model B). Data for Model D were analyzed by using geostatistics in order to draw maps to assess the moth spatial distribution and decide applications based on a risk-area. Model D required on average, more applications than Model C during the first flight, but less during the second and third flights. Application of synchronous models and advantages of geostatistics analyses to predict more precisely the risk of damage when area-wide control programs are applied, are discussed.

**Key words:** codling moth, monitoring, risk-area, geostatistics, mating disruption.

Fernandez D, Ribes-Dasi M, Avilla J. Comparison of different theoretical control strategies using *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) trap data to decide insecticide applications in a mating disruption area-wide control program. 2012.

## **7. CAPÍTULO 4**

### **A new device to monitor codling moth, [*Cydia pomonella* (L.)], flight activity**

**D.E. FERNANDEZ<sup>1</sup>, A. MOLTONI<sup>2</sup>, M. RIBES-DASI<sup>3</sup> AND J. AVILLA<sup>3</sup>**

1. INTA Alto Valle. Ruta Nac. 22, Km 1190, General Roca, Río Negro, Argentina.

2. Instituto de Ingeniería Rural – INTA. Castelar, Bs. As., Argentina.

3. Centro UdL-IRTA de R+D, Universidad de Lleida, Rovira Roure 191, 25198, Lleida, Spain.

Artículo enviado a la Revista de la Sociedad Entomológica Argentina en julio de 2012.



## **Abstract**

The codling moth [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)] is an important pest in most of the areas where pome fruits are grown. Monitoring adult flight activity is a key factor to predict mating and egg laying time, and to predict the risk of damage to fruits. Most of the previous studies have been conducted in laboratory under artificial conditions or in the field with traps, but more real and continuous data are needed in order to adjust models of adult behavior. A new device was constructed in order to measure the adult activity in the field. The apparatus consists of eight laser beam emitters in one extreme of a 20 cm in diameter tube, aligned with eight receptors on the other extreme of the tube, 50 cm apart. Emitters and receptors close a circuit that, when interrupted by adult flight, registers a “cut” in a memory card. The tube was made of a sewer pipe with clear plastic cribbed windows, to allow light and air flow freely. The device was tested during 25 days without insects to check for false counts. After that, adult codling moths were introduced in the equipment and the activity of the insects was registered. Despite some technical problems like energy cuts and laser failure, the device proved to be very helpful to assess the daily activity of codling moth adults. During the overwinter flight peak (November), moths were active between 06:30 PM and 02:00 AM with temperatures above 15°C. Activity graphs and the influence of temperature and other factors on codling moth adult behavior are discussed.

**Key words:** behavior, diel activity, temperature.

Fernandez D, Moltoni A, Ribes-Dasi M, Avilla J. A new device to monitor codling moth, [Cydia pomonella (L.)], flight activity. Rev. Soc. Entomol. Argent. Enviado 2012.



## **8. CAPÍTULO 5**

### **Wind effect on the distribution of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) trap captures in an area-wide mating disruption control program**

**D. FERNANDEZ<sup>1</sup>, M. RIBES-DASI<sup>2</sup> AND J. AVILLA<sup>2</sup>**

1 - INTA Alto Valle. CC 782, General Roca, R.N. (Argentina).

2 - Universidad de Lleida, Rovira Roure – 191, 25198 – Lleida (Spain).



## **Abstract**

Studies were conducted in apple (*Malus domestica* Borkhausen) and pear (*Pyrus communis* L.) orchards to evaluate the influence of the wind on the spatial distribution of adult codling moth, *Cydia pomonella* (L.) along the Río Negro and Neuquén valley. Data from 694 codling moth traps covering approximately 3,500 ha across the valley were analyzed to detect anisotropy by using geostatistics and kriging. The total area was under an area-wide mating disruption program. Mayor and minor axis of variability were detected and related to wind direction during the first flight of the season in 2008. Poor geometrical anisotropy was detected for most of the weeks, but not for the entire flight period. Minimum range on the axis with more continuity was about 600-700 m. This axis is transversal to the main direction of the valley. On the other hand, the minimum range on the axis with less continuity was about 500 m. This axis runs closer to the main direction of the valley. Wind direction appears to have a minor influence on pest spatial distribution because, prevailing winds do not cross nor the minimum neither the maximum axis of continuity. Other factors like pheromone movement along the valley, temperature, cities location, and orchard shape are discussed in order to improve the monitoring system.

**Key words:** codling moth, monitoring, geostatistics, anisotropic variogram.

Fernandez D, Ribes-Dasi M, Avilla J. Wind effect on the distribution of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) trap captures in an area-wide mating disruption control program. 2012.



## **9. CAPÍTULO 6**

**Selección de una grilla de trampas para la implementación de un sistema de vigilancia y monitoreo de carpocapsa [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)] en programas de control de grandes áreas.**

**Darío Fernández<sup>1</sup>, Franca Sinnott<sup>2</sup>, Liliana Cichón<sup>1</sup>, Silvina Garrido<sup>1</sup>, Marcelo Muñoz<sup>1</sup>, Fernanda Menni<sup>1</sup>, Adolfo García Barros<sup>2</sup>, Manel Ribes-Dasi<sup>3</sup>, Jesús Avilla<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup>INTA EEA Alto Valle, CC 782, (8332) General Roca, Río Negro (Argentina).

<sup>2</sup> FUNBAPA, Maipú 1634, (8332) General Roca, Río Negro (Argentina).

<sup>3</sup> Universidad de Lleida, Rovira Roure 191, (25198) Lleida (España).

Artículo enviado a la Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) en julio de 2012.



## **Resumen**

La carpocapsa [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)] es una de las plagas principales de los frutales de pepita (peras, manzanas y membrillos) y nogales. La codlemona, componente principal de la feromona producida por la hembra, se utiliza tanto para su control como para su monitoreo mediante trampas de captura, ya sea sola o en combinación con éster de pera. En programas de control de grandes áreas, el monitoreo es clave para determinar el riesgo de ataque de la carpocapsa y tomar decisiones de control. Las trampas para este fin se utilizan actualmente a razón de una por hectárea. En este trabajo se utilizaron datos de capturas en trampas de cuatro bloques de control de la carpocapsa con confusión sexual (Chañar 003: 520 ha, Cipolletti 003: 233 ha, Huergo 004: 384 ha, Regina 010: 241 ha) de las temporadas 2006/07 y 2007/08, para determinar la grilla más apropiada de distancia entre trampas. Mediante el uso de la geoestadística y de los sistemas de información geográfica se evaluaron grillas de 100, 200, 300 y 400 m entre trampas y se compararon los ajustes de los semivariogramas, los resultados del krigeo y el grado de similitud de los mapas obtenidos. La grilla de 200 m mostró los resultados más apropiados para obtener información confiable sobre el riesgo de ataque de la plaga y una reducción de los costos del monitoreo aplicable a las 46.980 ha de frutales de pepita en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén.

**Palabras clave:** riesgo de ataque, distribución, geoestadística, mapas, MIP.

## **Abstract**

The codling moth [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)] is the key pest of pome fruit (pears, apples and quince) and walnuts. Codlemone, main component of the female pheromone, is used for control as well as for pest monitoring using traps, either alone or in combination with pear ester. Monitoring is the key factor in other to assess pest risk under area-wide control programs. Pheromone traps under these conditions are being used depleting one per hectare. On this study we use trap capture data from four areas under control (Chañar 003: 520 ha, Cipolletti 003: 233 ha, Huergo 004: 384 ha, Regina 010: 241 ha). In order to evaluate the most appropriate distance among traps, we evaluate data collected during 2006/07 and 2007/08 seasons. We evaluate lattices of 100, 200, 300 and 400 m among traps using geostatistics and geographic information systems. Semivariograms fit, kriging results and similarity among maps was used as comparison parameters. The 200 m lattice showed the best results in order to detect the pest risk with an appropriate confidence, and reduction in trap and monitoring costs. The results could be applied to the 46,980 ha of pome fruit in the Alto Valle of Río Negro and Neuquén.

**Key words:** risk of pest, distribution, geostatistics, maps, IPM

Fernández D, Sinnott F, Cichón L, Garrido S, Muñoz M, Menni F, García -Barros A, Ribes-Dasi M, Avilla J. Selección de una grilla de trampas para la implementación de un sistema de vigilancia y monitoreo de carpocapsa [*Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)] en programas de control de grandes áreas. Rev. Invest. Agropec. Enviado 2012.



## **10. DISCUSIÓN GENERAL**



La carpocapsa es la plaga clave de los frutales de pepita en diferentes partes del mundo y su control es crítico para lograr una producción sustentable y con calidad de exportación. La implementación de programas de control a nivel regional o de grandes áreas ha probado ser una estrategia altamente efectiva que permite lograr muy buenos resultados de control con bajos niveles de daño y una sustancial reducción en el uso de insecticidas. En estos programas, la colecta, registro y flujo de información para la toma de decisiones es un factor crítico, siendo necesario contar con metodologías confiables desde el punto de vista biológico, y sustentables desde el económico.

En este contexto se evaluaron diferentes aspectos de la taxonomía y el monitoreo de *C. pomonella*, como un carácter para la rápida diferenciación de machos y hembras, el comportamiento y eficacia de un nuevo atractivo para su monitoreo, el uso de la geoestadística y los sistemas de información geográfica para la interpretación y manejo de grandes cantidades de datos de captura en trampas, el efecto del viento en la distribución espacial de los adultos y finalmente, se propuso un sistema de vigilancia a nivel regional.

Ante la búsqueda e introducción de nuevos compuestos con capacidad para la captura de hembras de la carpocapsa (Light *et al.* 2001, Hern y Dorn 2002, Ansebo *et al.* 2004, Yang *et al.* 2005, Casado *et al.* 2006) es necesario contar con un método rápido y sencillo para la diferenciación de machos y hembras. La visualización de una mancha negra en la zona inferior del primer par de alas de los machos, resultó ser muy sencillo y efectivo.

La descripción de este caracter ya había sido realizada por numerosos autores (Bovey 1966, Tremblay 1986, Howell 1991, Boselli *et al.* 2005), sin embargo, nunca se había realizado una evaluación exhaustiva del mismo ni había tenido una aplicación práctica en situación de campo. En la actualidad y luego de la introducción de las trampas con cebos de feromona y caïromona, la diferenciación de machos y hembras en los huertos se ha

transformado en una práctica habitual. A partir de este trabajo, ésta diferencia morfológica es utilizada en forma generalizada en diferentes partes del mundo, como un método sencillo y práctico (A. Knight, com. personal).

La implementación de programas de control de la carpocapsa con confusión sexual requiere, para tener éxito, de dos aspectos básicos: la presencia de bajas poblaciones de la plaga (Moffit y Westigard 1984, Vickers y Rothschild 1991) y un sistema de monitoreo confiable (Gut y Brunner 1996). La utilización de trampas cebadas con feromonas presenta algunas limitaciones ya que se utiliza el mismo compuesto tanto para el monitoreo como para el control y además, la captura de machos solo permite hacer una estimación indirecta de la actividad de las hembras (Howell 1991). Finalmente, en estos programas siempre está latente la posibilidad de que se produzcan los denominados “falsos negativos” (presencia de población no registrada por las trampas) (Alway 2002, Knight y Light 2005b). El éster de pera [(2E, 4Z) decadienoato de etilo] (Light *et al.* 2001) se presenta como una alternativa válida para resolver, al menos en parte, estos problemas.

En este estudio, las capturas registradas con el éster de pera combinado con la feromona fueron significativamente superiores a las registradas con el resto de los cebos (feromona 1 y 10 mg y éster de pera solo) durante toda la temporada, coincidiendo este resultado con trabajos previos de Light *et al.* (2001), Knight y Light (2005a), Knight *et al.* (2005). También en concordancia con Light *et al.* (2001), cuando se comparan las capturas entre vuelos, las mayores diferencias entre cebos se observan al inicio de la temporada (vuelo 1 y 2), aunque en este estudio se mantiene además, en algunas situaciones con bajas poblaciones de la plaga, como es el caso del tercer vuelo. Similares resultados se encontraron en perales, aunque las diferencias fueron menores.

Los cebos con 1 y 10 mg de feromona se comportaron en todos los casos de manera muy similar, no observándose diferencias sustanciales entre ellos. El incremento en las capturas registrado con el cebo de 1 mg hacia el final de la temporada, puede estar relacionado con una menor difusión de la feromona desde los emisores utilizados para el control, dado que el umbral de respuesta de los machos es dosis-dependiente (Witzgall *et al.* 2008). Los cebos con 10 mg podrían tener un efecto contrario ante esta situación (McNally y Barnes 1980). Es decir, que ante una menor concentración de feromona en el ambiente, la alta concentración del cebo produce un efecto de repelencia (Riedl *et al.* 1986). Sin embargo, en términos generales se puede concluir que el cebo con 10 mg de feromona no presentó ninguna ventaja comparativa respecto del de 1 mg.

El éster de pera solo, capturó un número de adultos similar a los cebos con 1 y 10 mg de feromona durante los vuelos 1 y 2, pero su atracción fue muy inferior hacia el final de la temporada (vuelo 3). Este hecho seguramente está relacionado con la presencia de otros volátiles producidos por los frutos próximos a su madurez comercial (Knight y Light 2001, Il'ichev 2004).

Debido a la importancia del monitoreo cuando el control se realiza con la técnica de confusión sexual, se debe evitar, en la medida de lo posible, la ocurrencia de los denominados “falsos negativos”. Si asumimos que todas las trampas tienen la misma probabilidad de capturar parte de la población presente en un área, el mejor cebo será aquel que registre un menor número de datos nulos (ceros), independientemente del número de capturas. En este sentido, el cebo que combina feromona y cairomona registró una reducción de 12,4% a 26,9% de datos nulos, respecto al resto de los cebos. Estos datos sugieren que este cebo es más confiable al momento de detectar una determinada población de la carpocapsa presente en un área.

Light *et al.* (2001) determinaron que el éster de pera tuvo capturas constantes en nogales, bajas en perales y variables (altas al inicio de la

temporada y bajas hacia el final) en manzanos. Nuestros resultados confirman estos datos en manzanos, pero indican además el mismo comportamiento en perales. Si bien siempre las mayores capturas se registraron en manzanos, estas diferencias generalmente no fueron significativas. Knight y Light (2001) e Il'ichev (2004) sugieren que la competencia con los volátiles naturales del huerto reduce la eficacia del éster de pera hacia el final de la temporada, pero nuestros datos no soportan esta hipótesis. Sin embargo, la distribución y proximidad de las plantaciones de manzanos y perales en nuestro caso, podrían influir en estos resultados.

Varios estudios previos han reportado que el éster de pera atrae más machos que hembras de la carpocapsa al inicio de la temporada y más hembras que machos en el período cercano a la cosecha (Light *et al.* 2001, Knight y Light 2005a, Knight *et al.* 2005). En el presente estudio, sin embargo se confirman los resultados de Il'ichev (2004) en Australia y Bosch (com. pers.) en España, quienes reportan que tanto el éster de pera solo o en combinación con la codlemona, atraen menos hembras que machos durante toda la temporada. En el cebo combinado de feromona y cairomona la proporción de hembras fue siempre inferior al 15%.

En general se observó que el 40% de las hembras capturadas en las trampas con cairomona estaban fecundadas. Si bien no se detectaron diferencias significativas, los cebos con cairomona y feromona presentaron una tendencia a atraer un mayor número de hembras vírgenes. Estudios realizados con trampas de intercepción (Knight 2000) y con trampas de luz (Howell y Britt 1994) reportan que entre el 50 y el 60% de las hembras capturadas en huertos tratados con la técnica de la confusión sexual, están fecundadas. Knight y Light (2005a) sugieren que el porcentaje de hembras fecundadas en estas mismas condiciones varían entre el 40 y 60%. En este sentido nuestro estudio coincide con los trabajos publicados previamente.

El principal modo de acción de la técnica de confusión sexual se supone que es la prevención del encuentro entre machos y hembras. Sin embargo, la técnica puede ser exitosa aún ante la presencia de un porcentaje elevado de hembras fecundadas, lo que indica que existen otros mecanismos involucrados. Vickers (1997) y Jones *et al.* (2008) han propuesto que el retraso en el inicio de la cópula podría ser finalmente la principal causa del éxito de la técnica. Por otra parte, en este estudio se observa un incremento de la proporción de hembras fecundadas hacia el final de la temporada de cultivo, lo que podría indicar una disminución de la concentración de feromona en el cultivo en este momento. Futuros estudios deberían abordar la evaluación de la relación entre la proporción de hembras fecundadas y la concentración de la feromona en el campo. Las trampas cebadas con éster de pera podrían ser de gran utilidad en estas evaluaciones.

Generalmente se considera que el mejor sistema de monitoreo es aquel que provee la estimación mas precisa y no necesariamente la mayor cantidad de insectos capturados. Sin embargo, es necesario tener al menos un mínimo número de individuos en base a los cuales se puedan tomar las decisiones acertadas (Gut *et al.* 2004). Los cebos que contienen la combinación de feromona y caïromona cumplen con este requisito en comparación con los otros cebos estudiados, especialmente cuando se requiere un nivel de daño de la carpocapsa muy bajo debido a restricciones cuarentenarias.

De todas maneras y a pesar de que estos cebos atraen una mayor cantidad de adultos que los demás, no fueron lo suficientemente atractivos como para evitar la ocurrencia de “falsos negativos”, lo que indica que el monitoreo visual de oviposiciones o daños, no puede ser totalmente eliminado y continuará siendo un componente crítico de los programas de MIP.

Existen aún diversas cuestiones a ser resueltas en el futuro. Entre estos estudios se debe evaluar la densidad de trampas a ser utilizadas (rango de atracción), umbrales de acción, información proporcionada por la captura de

hembras e interacción entre los volátiles de las plantas y las feromonas (Witzgall *et al.* 2008). Además, el uso de estos cebos puede permitir en el futuro el análisis de diversos aspectos del comportamiento como la distribución de las hembras y su distancia de vuelo, entre otros, muy difíciles de evaluar hasta el momento (Light *et al.* 2001, Keil *et al.* 2001).

La teoría tradicional del manejo integrado de plagas (MIP) propone el uso de umbrales de control para minimizar el impacto negativo de los insecticidas. El uso de este concepto permite tomar la decisión de aplicar una herramienta de control en un área determinada, solo cuando se sobrepasan dichos umbrales. La introducción de la teoría de los modelos sincronizados por parte de Byers y Castle (2005) contradice de alguna manera la teoría del MIP, postulando que la aplicación de medidas de control sincronizadas en grandes áreas resulta en un mejor control y en una menor aplicación de insecticidas por área.

La dispersión y distribución de una población es importante para el análisis de los datos, la estimación del tamaño, la evaluación de programas de monitoreo y la condición de una población (Southwood 1978). La obtención de mapas de distribución espacial de las plagas, especialmente de aquellas con gran movilidad que pueden desplazarse a áreas adyacentes, puede ayudar a entender sus movimientos y predecir el riesgo de daño en programas de control de grandes áreas. Sciarretta *et al.* (2001) considera que los actuales programas de MIP deben ser modificados para considerar la influencia del tamaño del huerto y sus alrededores en el movimiento de los adultos y los posibles patrones de daño.

En este estudio se consideraron cuatro modelos teóricos posibles y se comparó el número de aplicaciones necesarias para realizar un control de la carpocapsa en un área tratada con la técnica de confusión sexual, tomando como base las capturas en trampas durante una temporada completa.

El modelo sincronizado de cobertura total según la acción residual de los insecticidas (Modelo A) se considera que producirá los menores niveles de daño, sin embargo, no es sustentable económica ni ecológicamente. La recomendación de este modelo a los agricultores produce un modelo real (Modelo B) de aplicaciones que está influenciado por diversos factores de tipo climático (vientos, lluvias, temperaturas), mecánicos (disponibilidad de equipamiento), de gestión (otras labores culturales, compra de insumos, personal, etc.) y de percepción del riesgo.

De este último factor (percepción de riesgo) se desprende el concepto tradicional del MIP que considera los umbrales por parcela (Modelo C), sin considerar que la parcela o finca está inmersa en un área mayor, en la que la plaga se dispersa y excede los límites artificiales. Como consecuencia de la dispersión de algunas plagas como la carpocapsa, surge la implementación del modelo de área de riesgo (Modelo D) que considera el uso de umbrales en base a la distribución espacial de la plaga y no a datos puntuales.

Del análisis surge que los Modelos B y D requieren similar número de aplicaciones durante el primer vuelo de la carpocapsa, sin embargo el Modelo C, requiere un número menor. Según datos obtenidos por Fernández *et al.* (2010) las trampas de captura no son tan eficientes durante el segundo y tercer vuelo, lo cual comprometería los resultados del Modelo C, si no se lograra un buen control al inicio de la temporada.

En los mapas obtenidos con el modelo D se observa claramente que el centro del área presenta los menores niveles de población, probablemente debido a una dilución de la nube de feromona en los bordes y a la migración de individuos desde huertos vecinos (Koch *et al.* 1997, Brunner 2006). Además, la distribución espacial de los adultos también puede ser influenciada por factores como la dirección e intensidad del viento, el paisaje, la temperatura

y la lluvia entre otros (Putman 1963, Batiste *et al.* 1973, Koch *et al.* 1997, TFREC 2010).

En el presente análisis, la implementación de una estrategia que combina la técnica de confusión sexual con una moderada aplicación de insecticidas (Modelo B) logró reducir drásticamente el nivel de daño de la carpocapsa 16,5 veces ( $\approx$  5% a 0,3%) en una temporada. La aplicación del Modelo C, como lo postula en forma teórica el estudio de Byers y Castle (2005), seguramente hubiera finalizado con un daño mayor, ya que de hecho este fue el modelo seguido en años previos, alcanzando un daño promedio del 5%.

Entre las razones que pueden explicar las fallas en la aplicación del Modelo C sería oportuno mencionar las relacionadas con la innumerable cantidad de factores que afectan las capturas en las trampas y que han sido descritos detalladamente por Riedl *et al.* (1986). Además, es común que muchos datos no estén disponibles por la pérdida de la trampa, la inaccesibilidad del sitio de muestreo y otros factores similares.

Los datos obtenidos por Fernández *et al.* (2010) y otros autores son útiles para la toma de decisiones de aplicación a nivel parcelario. Sin embargo, estos modelos tradicionales no sincronizados que dependen de datos individuales, pueden no aportar suficiente información para detectar aspectos más complejos de las poblaciones, que se traducirán en un posterior incremento del daño.

Desde el punto de vista del Modelo D, en el que se considera un área de riesgo, la decisión de realizar una aplicación se toma en base a un grupo de trampas adyacentes que indican un nivel determinado de población. La pérdida de un dato puntual no afectaría mayormente esta decisión. Los modelos de área de riesgo pueden ayudar a evitar los inconvenientes que presenta el modelo tradicional de MIP respecto al análisis de la información. La geoestadística aplicada al monitoreo de plagas podría ser en estos casos

una herramienta efectiva para determinar las zonas de riesgo, permitiendo una reducción en el número de aplicaciones de insecticidas, mientras se alcanza un nivel de daño aceptable.

En futuros trabajos se deberá abordar el estudio de la relación entre las líneas de iso-capturas y los niveles de daño, ya que este es el factor clave para el desarrollo de un modelo de decisión por umbrales. Sin embargo, los resultados presentados en este trabajo indican que el análisis geoestadístico es apropiado para analizar la presencia y distribución de la población de la carpocapsa en el área.

El estudio de la actividad de los insectos es importante para establecer su relación con las variables climáticas y de esta manera ajustar su monitoreo y la aplicación de nuevas herramientas de control. Además de la observación directa a campo (Witzgall 1999, Epstein *et al.* 2011), se han desarrollado varios equipamientos simples que permiten medir la actividad de los insectos (Callahan 1957, Davis 1965, Batiste 1970, Hsiao 1978, Riedl y Loher 1980, Knight *et al.* 1994). Recientemente, nuevas tecnologías como los actógrafos ultrasónicos (Luff *et al.* 1979), sistemas de video controlados por ordenadores (El-Sayed *et al.* 2000) y sensores fotoeléctricos (Kawada y Takagi 2004) han sido utilizados, en general, para evaluar la actividad de los insectos en condiciones de laboratorio.

Específicamente para la carpocapsa, se ha intentado evaluar la actividad de oviposición, la emisión de feromona y las capturas en trampas (Batiste 1970, Hsiao 1978, Riedl y Loher 1980, Knight *et al.* 1994, Witzgal 1999, Epstein *et al.* 2011). Sin embargo, con el equipamiento desarrollado en este trabajo, se propone medir el movimiento que causa dispersión y relacionarlo con las variables climáticas locales. Actualmente, los datos de temperatura, velocidad y dirección del viento, etc. se registran con estaciones automáticas o *dataloggers* a intervalos de 10 minutos o menos y, para el desarrollo de

modelos de comportamiento, es necesario contar con datos de la actividad de los insectos colectados a intervalos similares.

Por otra parte, el vuelo de los adultos de la carpocapsa está influenciado por la fisiología del hospedero y las condiciones climáticas. Cuando se registra solamente el comportamiento del vuelo en el laboratorio, se deja de lado la verdadera complejidad del comportamiento del insecto. Por tanto, es necesario introducir variables como las señales del hospedero en los experimentos de vuelo, para realizar estudios más detallados (Jones y Wiman 2008). En el presente estudio, si bien estas señales no fueron analizadas, ciertamente estuvieron presentes afectando el comportamiento de los insectos y los resultados. Otros factores como el tamaño del árbol y su efecto sobre la temperatura (Kuhrt *et al.* 2006) pueden también provocar pequeñas diferencias de comportamiento cuando se pretende extrapolar los resultados de los análisis de distribución espacial, hacia áreas mayores y mas complejas.

A pesar de algunas fallas técnicas del equipamiento que deberán se revisadas, éste fue efectivo para determinar la mayor actividad de los adultos de la carpocapsa durante el primer vuelo de la temporada. Los picos de vuelo se registraron con temperaturas superiores a los 15°C y entre las 18:30 y las 02:00 h. Existe también un período de actividad al amanecer que ha sido reportado en otros estudios (Knight *et al.* 1994) pero, debido a que la temperatura escasamente alcanza los 15°C en este momento del día en el área de estudio durante el mes de noviembre, prácticamente no fue registrado.

Se considera que con pequeños ajustes y modificaciones este equipamiento podrá ser utilizado en el futuro para desarrollar modelos de comportamiento más precisos e inclusive para la detección en forma automática de insectos (trampa electrónica).

Durante el vuelo de la generación invernante de la carpocapsa, la temperatura promedio entre las 18:30 y 02:00 h se mantuvo mayoritariamente por encima de los 15°C, coincidiendo con los estudios de Batiste *et al.* (1973). La velocidad promedio del viento durante las horas de mayor actividad de los insectos se mantuvo siempre en valores que no afectaron la actividad de los adultos (Putman 1963). Si bien se produjeron ráfagas de viento con velocidades superiores a los 50 km.h<sup>-1</sup>, éstas fueron de muy corta duración.

En condiciones climáticas normales el viento provino de la dirección mas frecuente, es decir del cuadrante Oeste/Sudoeste. Sin embargo se produjeron algunos períodos de inestabilidad en los que el viento provino del sector Este/Sudeste.

Debido a que los machos vuelan en zig-zag contra el viento siguiendo la feromona producida por la hembra (Borden 1931), se asume que volaron hacia el cuadrante Oeste/Sudoeste durante la mayoría de las semanas y hacia el Este/Sudeste durante los períodos inestables en los que se registraron lluvias y bajas temperaturas.

Estas direcciones del viento se compararon con la distribución espacial de la carpocapsa, analizada mediante la utilización de la geoestadística. Para el análisis se seleccionó el modelo esférico en base al menor valor de la sumatoria de los residuos al cuadrado y al grado de dependencia de los datos ( $C/Co+C$ ) (Cambardella *et al.* 1994).

Los gráficos de superficie generados a partir del análisis de semivarianza anisotrópica, permitieron visualizar la semivarianza en cada dirección del compás, con el origen del variograma [ $\gamma(h) = 0$ ] en el centro. Esto permite detectar los ejes principales de mayor y menor continuidad. En este caso no se observa una clara diferencia entre estos ejes, sino un patrón repetido de

mayor y menor continuidad a intervalos regulares, lo que indica una anisotropía débil (Isaaks and Srivastava 1989, Goovaerts 1997).

Los fenómenos espacialmente continuos se caracterizan por tener una pepita moderada a alta y un alcance extenso. Sumado a esto se observa que las semivarianzas mínimas y máximas son similares y, lo que mayormente varía es el alcance. Estas características indican que la anisotropía, si existe, es geométrica y claramente no es zonal, lo que es muy común que ocurra (Isaaks and Srivastava 1989).

El comportamiento diferencial en la continuidad espacial dependiendo de la dirección, puede ocurrir debido a patrones de migración, condiciones ambientales o patrones locales (Liebhold *et al.* 1993). En este estudio se observa una mayor continuidad, aunque no significativa, en la dirección Norte-Sur.

Similares resultados fueron encontrados por Comas *et al.* (2012) para *Cydia pomonella* en Cataluña (NE de España) al analizar la capturas en un área de 160.000 Ha. Sin embargo, se debe considerar que estos dos estudios difieren en la metodología utilizada para el análisis, la continuidad y distribución de los hospederos, la distancia entre trampas y la geografía del área de estudio.

Otro efecto claramente observable en los mapas de iso-capturas es la mayor cantidad de capturas en los bordes del área de estudio. Este fenómeno se debe posiblemente a la dilución de la concentración de la feromona en estos sectores (Koch *et al.* 1997, Brunner 2006), aunque autores como Koch *et al.* (1997) señalan que factores como la dirección del viento y su intensidad también podrían tener una influencia marcada.

La pendiente del Alto Valle de Río Negro y Neuquén de 0,7% hacia el Este y de 1,5% hacia el Sur (Casamiquela *et al.* 1984) no parece ser lo suficientemente pronunciada para provocar que la feromona, más pesada

que el aire, fluya en esas direcciones. Sin embargo, podemos agregar además, un movimiento del aire frío desde la meseta que bordea al valle y que tiene un promedio de 50 a 100 m de altura dependiendo de la zona considerada. Este movimiento ocurre especialmente durante la noche, cuando baja la temperatura y el aire frío, más denso, se dirige hacia el río ubicado en el borde sur del valle (Cogliati y Mazzeo 2002, Tassara 2007).

Otros posibles factores involucrados y que deberán ser estudiados en el futuro son los gradientes de temperatura desde el borde Norte (cercano al área desértica) al borde Sur (cercano al río) y el hecho de que todas las ciudades se encuentran sobre el borde Norte del valle, influenciando tanto la temperatura como la iluminación del área. Todos estos factores en conjunto se deberán tener en cuenta para ajustar los modelos de monitoreo y control, pero en general no se observa una influencia marcada de los mismos en la distribución de la carpocapsa.

Los estudios de la anisotropía en la distribución de los adultos indican que las trampas podrían ser distribuidas a una menor distancia en el sentido Oeste-Este respecto al sentido Norte-Sur. Sin embargo, el nivel de anisotropía encontrado es muy débil con una elipse de mayor continuidad transversal a los vientos predominantes y a la dirección del valle.

El rango de continuidad obtenido tanto en este estudio como en otros realizados previamente, es mayor que el actualmente aceptado para las trampas (1 por hectárea = 100 m) (Gut y Brunner 1996), lo que posibilitaría generar una grilla de trampeo menos densa con el consecuente ahorro en mano de obra e insumos.

Según los resultados del estudio, en la dirección de mínima variación (Norte-Sur) la distancia entre puntos de muestreo se extiende a 600 o 700 m, y en la de máxima variación (Oeste-Este) a 500 m. Flatman *et al.* (1987) recomienda que las muestras deben ser tomadas a menos de dos tercios del rango de

correlación encontrado, cuando la pepita es moderada a alta como en este caso. Por tanto, las trampas deberían estar a menos de 330 m en la dirección Oeste-Este y a menos de 400-450 m en la dirección Norte-Sur.

La implementación de un plan de monitoreo, en este caso con una ventana de 300 por 400 m provocará una mejora sustancial en la gestión y una sustancial reducción de costos. Sin embargo, debido a la forma actual de los huertos y su división en parcelas con una superficie de 1 ha (100 m x 100 m) en función del riego gravitacional utilizado, sería poco práctico implementar puntos de muestreo con distancias diferenciales en relación a su orientación.

Por este motivo, se considera que sería más apropiada la búsqueda de una distancia uniforme para la toma de muestras, poniendo el mayor esfuerzo de monitoreo y control en las zonas perimetrales de los bloques considerados.

En Argentina y específicamente en el Valle de Río Negro y Neuquén se implementó a partir del año 2006 y en forma progresiva, un Programa Nacional de Supresión de Carpocapsa (PNSC) que proveyó a los productores insumos, asistencia técnica y el monitoreo para el control de esta plaga durante tres años. En el año 2010 el programa alcanzó la totalidad de huertos con hospederos de la plaga, con una drástica disminución del porcentaje de daño y del uso de insecticidas (Villarreal *et al.* 2010). Sin embargo, una vez finalizada su intervención, es necesario continuar con el monitoreo para detectar y prevenir posibles incrementos en los niveles poblacionales.

Debido a la magnitud y alcance del programa, es necesario reducir los costos de su implementación para que el mismo pueda ser sustentable en el tiempo. Esta disminución de costos en insumos (trampas) y labor (monitoreadores), no debe comprometer la fiabilidad de los datos a partir de los cuales se tomarán las decisiones de acción del PNSC.

El cálculo teórico de trampas necesarias para toda la superficie de cultivo, considerando la densidad recomendada actualmente de 1 trampa.ha<sup>-1</sup> (Gut y Brunner 1996), indica que se deberían utilizar 46.980 trampas. No obstante, debido a la falta de continuidad de las plantaciones en algunas áreas, a las situaciones de borde y a la existencia de lotes individuales con superficies levemente inferiores o superiores a una hectárea, el número real de trampas necesario es de 36.140, siendo la relación Teórico/Real de 1,3. Sin embargo, cuando se evalúan grillas con distancias mayores a 100 m, hay trampas que cubren partes de áreas sin hospederos, produciéndose un efecto de subestimación del número de trampas. En estas grillas, el número real es en todos los casos superior al número teórico calculado.

Para ajustar el tamaño de la grilla de monitoreo es necesario determinar el alcance (rango) de los semivariogramas que permiten hacer estimaciones sobre la distribución de la población. Existen referencias de que tanto machos como hembras pueden realizar vuelos de larga distancia para colonizar nuevos hospederos; sin embargo, la mayoría de los individuos de una población (>85%) tiene un comportamiento sedentario (Schumacher *et al.* 1997). En el campo, White *et al.* (1973) reportó que las hembras fecundadas se dispersaron como máximo a una distancia 656 m. Estos datos harían suponer que la probabilidad de capturar una cantidad suficiente de individuos, para superar un umbral de riesgo determinado a distancias superiores a los 300 m, es muy baja, comprometiendo la detección de sitios con alto potencial de ataque de la plaga. Por otra parte, el escaso poder de atracción de las trampas en programas de control con confusión sexual, con una limitada área de influencia, produce un incremento de la varianza muestral y de los errores de estimación a medida que nos alejamos del punto de muestreo.

Flatman *et al.* (1987) considera que la distancia entre muestras debe ser la mitad del rango de correlación ( $r/2$ ) cuando la pepita es pequeña. Cuando la

pepita es grande esta distancia debe ser menor a dos tercios ( $2r/3$ ) del rango de correlación. En este caso el rango mínimo es de 385 m, lo que permitiría distanciar las trampas a  $r/2 = 385/2 = 192$  m para valores de pepita pequeños y a  $2r/3 = 2(385)/3 = 256$  m para valores de pepita grandes. En todos los casos los valores de pepita son pequeños, por tanto si seguimos esta regla, el distanciamiento recomendable entre trampas sería de aproximadamente 200 m.

Los ajustes de los semivariogramas y los alcances obtenidos con la grilla de 300 m indican un menor nivel de precisión en la información respecto a la grilla de 200 m, obteniéndose en algunos casos, muy bajos coeficientes de correlación en las validaciones cruzadas luego del krigeo. La ocurrencia de elevados valores de  $C_0$  (pepita) es indicativo de la presencia de una microestructura, es decir una componente del fenómeno cuyo rango es menor que la menor distancia entre muestras y/o errores de medida (Isaaks y Srivastava 1989). En la grilla de 200 m, en general, se observan menores valores de  $C_0$  que en la grilla de 300 m.

Al comparar visualmente los mapas de iso-capturas obtenidos con las grillas de 100, 200 y 300 m, se observa que en general todas las zonas de riesgo están presentes en las tres distancias evaluadas, pero ocupando una menor superficie en las grillas de 200 y 300 m que en la grilla de 100 m o mostrando menores niveles de captura que en éste último caso.

La comparación matemática de los mapas indica una mayor correspondencia para el primer vuelo que para el vuelo total, lo que estaría indicando que no existen grandes diferencias entre los mapas cuando las capturas son elevadas (primera generación), pero éstas sí se evidencian en los momentos mas críticos, cuando las capturas son reducidas.

Los mapas obtenidos con la grilla de 300 m no presentan diferencias visuales marcadas respecto a la de 200 m, sin embargo, tanto los ajustes de los

modelos de distribución espacial de la plaga, los alcances de los semivariogramas y la validación y comparación de mapas, hacen suponer que con esta grilla se está en el límite máximo de distanciamiento entre trampas, lo cual puede implicar un alto riesgo de subestimación de las poblaciones de la carpocapsa en situaciones particulares.

El desarrollo de esta propuesta de vigilancia y monitoreo permite generar información de gran relevancia para la toma de decisiones en el control de la carpocapsa. Sin embargo, para que la misma tenga utilidad práctica, debe ser puesta a disposición de los productores, técnicos y profesionales involucrados en su manejo. Una experiencia similar se desarrolla desde el año 1998 en la zona frutícola de Lleida (Cataluña-España) con excelentes resultados (Ribes-Dasi *et al.* 1998, Comas *et al.* 2012). Para ello se propone el desarrollo de una página de Internet donde se publiquen los mapas semanales de iso-capturas. De esta manera, la información estará disponible en forma sencilla y rápida. La metodología de trabajo comprende los siguientes pasos: 1. Colecta de los datos de capturas en el campo. 2. Carga de la información en una base de datos que la centralice y consolide. 3. Análisis geoestadístico de los datos y generación de los mapas correspondientes. 4. Conformación de un SIG que incluya el mapa o foto satelital del área, el catastro, la ubicación de las trampas y el mapa de iso-capturas. 5. Publicación de los mapas en una página de Internet de acceso libre.



## **11. CONCLUSIONES GENERALES**



### **Sobre el objetivo específico 1**

Se concluye que la “mancha negra” en la parte inferior del primer par de alas de los machos de *C. pomonella* es un caracter sexual secundario confiable para la diferenciación de machos y hembras de la especie capturados en trampas que contienen cebos con cairomona.

### **Sobre el objetivo específico 2**

Se concluye que las trampas cebadas con feromona más cairomona (Combo®), son más atractivas para los machos y hembras de carpocapsa que los cebos de cairomona sola y que los cebos con 1 o 10 mg de feromona en áreas tratadas con la técnica de confusión sexual. No se observaron diferencias entre los cebos de 1 y 10 mg de feromona en estas condiciones.

### **Sobre el objetivo específico 3**

Se concluye que la geoestadística es una herramienta valiosa para evaluar la distribución espacial de la carpocapsa en programas de control de grandes áreas con la técnica de confusión sexual y para implementar modelos que consideren la aplicación de zonas de riesgo para el control de plagas.

### **Sobre el objetivo específico 4**

Se concluye que la actividad de vuelo de la carpocapsa en condiciones de campo durante el mes de noviembre (pico de vuelo de la generación invernante) ocurre cuando la temperatura supera los 15°C y entre las 18:30 y las 02:00 h, cuando el sol tiene un ángulo sobre el horizonte inferior a los 20°. No se detectó una influencia significativa del viento sobre la distribución espacial de la plaga durante el período mencionado, por lo que

no se recomienda una distribución de las trampas con un distanciamiento diferencial según la dirección considerada.

### **Sobre el objetivo específico 5**

Considerando todos los análisis realizados se estima que la grilla de 200 m ofrece información confiable para los fines de vigilancia fitosanitaria, con una reducción cercana al 60% en el número de trampas necesarias para obtener resultados similares a la grilla actualmente en uso de 100 m. La selección e implementación de una grilla de 200 m se traducirá además en una disminución apreciable del costo de un sistema de vigilancia y monitoreo de la carpocapsa en la región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, Argentina.

### **Sobre el objetivo general**

Las metodologías y herramientas desarrolladas y evaluadas en la presente Tesis Doctoral facilitan y tornan más eficiente el monitoreo y el proceso de toma de decisiones para el control de *C. pomonella* en programas de grandes áreas tratadas con la técnica de la confusión sexual.

## **12. BIBLIOGRAFÍA GENERAL**



- Aghdam, H.R., Y. Fathipour, G. Radjabi, M. Rezapanah. 2009.** Temperature-dependent development and temperature thresholds of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Iran. *Environ. Entomol.* 38: 885-895.
- Altieri, M.A., C.I. Nichols. 2004.** Biodiversity and pest management in agroecosystems. 2nd ed. The Haworth Press, Inc. Binghamton, NY. 236 pp.
- Alway, T. 2002.** Monitoring codling moth. Orchard IPM update. Vol. 4, N°3. Washington State University, Pullman, WA. Disponible *on line* en: <http://entomology.tfrec.wsu.edu/stableipm/news041502.html>.
- Anónimo. 1950.** Estación Agropecuaria de Cinco Saltos. Memoria Técnica 1945-1949. Biblioteca INTA Alto Valle, Allen, Río Negro. Argentina.
- Ansebo, L., M.D.A. Coracini, M. Bengtsson, I. Liblikas, M. Ramirez, A.K. Borg-Karlson, M. Tasin, P. Witzgall. 2004.** Antennal and behavioural response of codling moth *Cydia pomonella* to plant volatiles. *J. Appl. Entomol.* 128: 488-493.
- Arbogast, R.T., R.W. Mankin. 1998.** The utility of spatial analysis in management of storage pests. Proc. 7<sup>th</sup> Int. Working Conference on Stored-product Protection. Vol. 2. 14-19 Oct. 1998. Sichuan Pub. House of Sc. & Tech. Chengún, P.R.China.
- Arn, H., Guerin, P.M., Buser, H.R., Rauscher, S., Mani, E. 1985.** Sex pheromone blend of the codling moth, *Cydia pomonella*: evidence for a behavioural role of dodecan-1-ol. *Experientia* 41: 1482-84.
- Ashby, C., W. Singh 1990.** Control of diapause codling moth larvae. *Entomol. Exp. Appl.* 56: 71-81.
- Bale, J.S. 1987.** Insect cold hardiness: Freezing and supercooling – An ecophysiological perspective. *J. Insect Physiol.* 35: 899-908.
- Bandieri, S. 2005.** Historia de la Patagonia. Ed: Sudamericana, Buenos Aires. 448p.
- Barnes, M.M., D.M. Peterson, J.J. O'Connor. 1966.** Sex pheromone gland in the female codling moth, *Carpocapsa pomonella* (Lepidoptera: Olethreutidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 59: 732-734.

- Barnes, M.M. 1991.** Codling moth occurrence, host race formation, and damage. *Tortricid Pests: Their Biology, Natural Enemies and Control*. World Crop Pests, ed. by W. Helle, Elsevier, pp. 313-328.
- Batiste, W.C., H. William, A. Berlowitz. 1973.** Codling moth: influence of temperature and daylight intensity in periodicity of daily flight in the field. *J. Econ. Entomol.* 66: 883-892.
- Batiste, W.C., W.H. Olson. 1973.** Codling moth: mass production in controlled environment rearing units. *J. Econ. Entomol.* 66: 383-387.
- Batiste, W.C. 1970.** A timing sex-pheromone trap with special reference to codling moth collections. *J. Econ. Entomol.* 63: 915-918.
- Beck, S.D. 1968.** *Insect photoperiodism*. First ed. Academic Press. New York. 288 pp.
- Benz, G. 1991.** Reproduction. Chapter 2. Physiology, reproduction and ecology. *In: Tortricid pests. Their biology, natural enemies and control*. World Crop Pests. Van Der Geest & Evenhuis (eds.), Elsevier, Amsterdam.
- Bloem, S.A. Mc Cluskey, R. Fugger, S. Arthur, S. Wood, J. Carpenter. 2007.** Suppression of the Codling Moth *Cydia pomonella* in British Columbia, Canada Using an Area-Wide Integrated Approach with an SIT Component. *In: M.J.B. Vreysen, A.S. Robinson and J. Hendrichs (eds.), Area-Wide Control of Insect Pests*, 591-601. IAEA.
- Blom, P.E., S.J. Fleischer, Z. Smilewitz. 2002.** Spatial and temporal dynamics of Colorado potato beetle (Coleóptera: Chrysomelidae) in fields with perimeter and spatially targeted insecticides. *Environ. Entomol.* 31: 149-159.
- Blomfield, T.L., K.L. Pringle, A. Sadie. 1997.** Field observation on oviposition of codling moth, *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Olethreutidae), in an unsprayed orchard in South Africa. *African Entomol.* 5: 319-336.
- Bobb, M.L., A.M. Woodside, R.N. Jefferson. 1939.** Baits and bait traps in codling moth control. *VA Agric. Exp. St. Bull.* 320: 1-19.

- Borden, A.D. 1931.** Some field observations on codling moth behavior. J. Econ. Entomol. 24: 1137-1145.
- Borror, D.J., C. A. Triplehorn, N.F. Johnson. 1989.** An Introduction to the Study of Insects. 6<sup>th</sup> ed. Saunders, Philadelphia. 875 pp.
- Bosch, D., A. Burballa, M. Sarasúa, J. Avilla. 1998.** Control de carpocapsa (*Cydia pomonella*) mediante confusión sexual y fenoxycarb. Fruticultura Profesional XX. pp 52-60.
- Boselli, M.M. Melandri, E. Pasqualini, G. Pradolesi, R. Zelger. 2005.** *Cydia pomonella* Linnaeus (ovvero l'anatema dei pomi) un fitofago chiave di melo e pero. Agronomica 3: 26-45.
- Bovey, P. 1966.** Super-famille des Tortricidae. En: Balachowsky, A.S. Entomologie Appliquée a l'Agriculture. Tome II. Lépidoptères. Premier Volume. pp. 456-893. Masson et Cie. Paris (France). 1057 pp.
- Brenner, R.J., D.A. Focks, R.T. Arbogast, D.K. Weaver, D. Shuman. 1998.** Practical use of spatial analysis in precision targeting for integrated pest management. Am. Entomol. 44: 79-101.
- Brown, R.L. 1979.** The valid generic and tribal names for the codling moth, *Cydia pomonella* (Olethreutinae: Tortricidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 72: 565-567.
- Brown, G.C., A.A. Berryman and T.P. Bogyo. 1979.** Density-dependent induction of diapause in the codling moth, *Laspeyresia pomonella* (Lepidoptera: Olethreutidae). Canadian Entomologist, 111: 431-433.
- Brunner, J. 2006.** Pheromone as control tactics for codling moth. WSU-IFAFS-RAMP Workshop. Disponible *on line* en: <http://www.tfrec.wsu.edu/stableipm/workshopPDFs/cmpheromone.pdf>. 10 pp.
- Burrough, P.A. 2009.** Spatial aspects of ecological data. Chapter 7 in: Data analysis in community and landscape ecology. Ed.: R.H.G. Jongman, C.J.F. Ter Braak & O.F.R. Van Tongeren. Cambridge Univ. Press, 299 pp.

- Butt, B.A., D.O. Hataway. 1966.** Female sex pheromone as attractant for male codling moth. *J. Econ. Entomol.* 59: 476-477.
- Byers, J.A., S.J. Castle. 2005.** Areawide models comparing synchronous versus asynchronous treatments for control of dispersing insect pests. *J. Econ. Entomol.* 98: 1763-1773.
- Calkins, C.O., R.J. Faust. 2003.** Overview of areawide programs and the program for suppression of codling moth in western USA directed by the United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service. *Pest Manag. Sci.* 59: 601-604.
- Callahan, P.S. 1957.** Oviposition response of the imago of the corn earworm *Heliothis zea* (Boddie) to various wavelengths of light. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 50: 444-452.
- Cambardella, C.A., T.B. Moorman, J.M. Novak, T.B. Parkin, D.L. Karlen, R.F. Turco, A.E. Konopka. 1994.** Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
- Campbell, J.F., M.A. Mullen, A.K. Dowdy. 2002.** Monitoring stored-product pests in food processing plants with pheromone trapping, contour mapping, and mark-recapture. *J. Econ. Entomol.* 95: 1089-1101.
- Casado, D., C. Gemeno, J. Avilla, M. Riba. 2006.** Day-night and phenological variation of apple tree volatiles and electroantennogram responses in *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Environ. Entomol.* 35: 258-267.
- Casamiquela, C., J. Nolting, F. Horne, A. Requena. 1984.** Documento básico para el programa “Riego, Salinidad y Drenaje”. 100 pp. Biblioteca INTA EEA Alto Valle.
- Castrovillo, P.J., R.T. Cardé. 1979.** Environmental regulation of female calling and male pheromone response periodicities in the codling moth (*Laspeyresia pomonella*). *J. Ins. Physiol.* 25: 659-667.
- Castrovillo, P.J., R.T. Cardé. 1980.** Male codling moth (*Laspeyresia pomonella*) orientation to visual cues in the presence of pheromone

and sequences of courtship behaviors. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 73: 100-105.

**Cavil, G.W., I.M. Coggiola. 1971.** Photosensitized oxygenation of  $\alpha$ -farnasene. *Aust. J. Chem.* 24: 135-142.

**Chapman, P.J. 1973.** Bionomics of the apple-feeding Tortricidae. *Ann. Rev. Entomol.* 18: 73-96.

**Chapman, R.F. 1998.** *The insects: Structure and Function.* 4<sup>th</sup> Ed. Cambridge Univ. Press.

**Charmillot, P.J. 1976.** Contribution à l'étude de la localisation des sites d'hibernation et de la mortalité hivernale du carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.) en vergers de pommiers et d'abricotiers. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 49: 191-202.

**Charmillot, P.J. 1980.** Development of a warning system for the codling moth: role of warning services and the growers. *Bulletin OEPP*, 10: 231-239.

**Charmillot, P.J. 1990.** Mating disruption technique to control codling moth in western Switzerland. *Behavior-modifying chemicals for insect management: Applications of pheromones and other attractants* (ed. by R.L. Ridgway, R.M. Silverstein, M.N. Ioscoe), pp. 165-182. Dekker, New York.

**Chiesa-Molinari, O. 1948.** *Las plagas de la agricultura. Manual Práctico de Procedimientos Modernos para combatirlas.* Ed. El Ateneo. Buenos Aires. 497 pp.

**Cichón L., C. Alemani, D. Fernández, E. Contreras, N. Zunino. 2006.** Generación y desarrollo de tecnologías de producción y organización para el control de la carpocapsa en la fruticultura de pepita argentina. Proyecto INTA 2184. Disponible *on line* en: [www.inta.gov.ar/altovalle/sanidad/proyectos/2184.html](http://www.inta.gov.ar/altovalle/sanidad/proyectos/2184.html).

**Cichón L., D. Fernández. 2000.** Fruit production and mating disruption of codling moth in Argentina. XXI International Congress of Entomology. Foz do Iguassu, PR, Brasil. Ed. Entomological Society of Brazil, pp. 106.

- Cichón, L. 1999.** Fenología de *Cydia pomonella* (L.) en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Base para el desarrollo de un sistema de alarma. *En* Fruticultura Moderna. INTA-GTZ. Parte 2, Cap. 4, pp. 70-77.
- Cichón, L., D. Fernández. 1993.** Carpocapsa en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. INTA. Investigación Agropecuaria, N° 42, 13 pp.
- Cichón, L., D. Fernandez. 1999.** La técnica de la confusión sexual en carpocapsa. Desarrollo en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. *En* Fruticultura Moderna. INTA-GTZ. Parte 2, Cap. 4, pp. 88-95.
- Cigliano, M.M., W.P. Kemp, T.M. Kalaris. 1995.** Spatiotemporal characteristics of rangeland grasshopper (Orthoptera: Acrididae) regional outbreaks in Montana. *J. Orth. Res.* Aug. 1995, pp. 111-126.
- Cisneros, F.H. 1971.** Contribution to the biological and ecological characterization of apple and walnut host races of codling moth, *Laspeyresia pomonella* (L.) PhD thesis, Univ. of California, Riverside, CA.
- Cogliati, M.G., N.A. Mazzeo. 2002.** Características general y local de las temperaturas y del viento en el Alto Valle del río Neuquén, Argentina. *Rev. Arg. Agromet.* 2: 31-38.
- Comas, C., J. Avilla, M.J. Sarasúa, R. Albajes, M. Ribes-Dasi. 2012.** Lack of anisotropic effects in the spatial distribution of *Cydia pomonella* pheromone traps catches in Catalonia, NE Spain. *Crop Prot.* 34: 88-95.
- Coracini, M., M. Bengtsson, I. Liblikas, P. Witzgall. 2004.** Attraction of codling moth males to apple volatiles. *Entomol. Exp. Appl.* 110: 1-10.
- Cordo, H., G. Logarzo, K. Braun, O. Diorio. 2004.** Catálogo de Insectos Fitófagos de la Argentina y sus Plantas Asociadas. 1º Edición. Sociedad Entomológica Argentina. 734 pp.
- Cucchi, N., V. Becerra. 2006.** Manual de tratamientos fitosanitarios para cultivos de clima templado bajo riego. Sección I: Frutales de carozo. 1ª ed. EEA INTA Mendoza. 280 pp.

- Curkovic, T., J.F. Brunner, P. Landolt. 2001.** Courtship behavior of Obliquebanded and Pandemis leafrollers. Proc. 75<sup>th</sup> Ann. WOPDM Conf. Portland, OR. Pp. 125-126.
- Curtis, C.E., J.S. Tebbets, J.D. Clark. 1990.** Oviposition of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) on stone fruit in the field and an improved oviposition cage for use in the laboratory. J. Econ. Entomol. 83: 131-134.
- Dalthorp, D., J. Nyrop, M. Villani. 1999.** Estimation of local mean population densities of Japanese beetle grubs (Scarabaeidae: Coleoptera). Environm. Entomol. 28: 255-265.
- Danks, H.V. 1987.** Insect dormancy. An ecological perspective. Biol. Surv. Of Canada. Monograph Series N°1 (Terrestrial Arthropods) 439 pp.
- David, F.N., P.G. Moore. 1954.** Notes on contagious distributions in plant populations. Ann. Bot. Lond. N.S. 18: 47-53.
- Davis, R. 1965.** An apparatus for continuously recording aphid flights from their hosts. J. Econ. Entomol. 58: 134-135.
- De la Mora, O. C., G.J.G. Flores, C.J.A. Ruiz, V.J. García. 2004.** Modelaje estocástico de la variabilidad espacial de la calidad de agua en un ecosistema lacustre. Rev. Int. Contam. Ambient. 20: 99-108.
- El-Sayed, A.M., J. Godde, H. Arn. 2000.** A computed-controlled video system for real-time recording of insect flight in three dimensions. J. Ins. Behav. 13: 881-900.
- Epstein, D.L., J.R. Miller, M.J. Grieshop, L.L. Stelinski. 2011.** Direct sampling of resting Codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) adults in apple tree canopies and surrounding habitats. J. Env. Entomol. 40: 661-668.
- Fariás, P.R.S., S.R. Roberto, J.R.S. Lopes, D. Perecin. 2003.** Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Xylella fastidiosa* sharpshooter vectors on citrus. Neotropical Entomology 33: 13-20.
- Fernández, D., D. Bosch, L. Cichón, J. Avilla. 2006.** A secondary sexual character for sex determination of *Cydia pomonella* (L.)

(Lepidoptera: Tortricidae) adults, trapped with kairomone lures. IOBC/WPRS Bulletin, 30: 273-278.

**Fernández, D., L. Cichón, E. Sánchez, S. Garrido, C. Gittins. 2008.**

Effect of different cover crops on the presence of arthropods in an organic apple (*Malus domestica* Borkh) orchard. J. Sust. Agr. 32: 197-211.

**Fernández, D., L. Cichón, S. Garrido, M. Ribes-Dasi, J. Avilla.**

**2010.** Comparison of lures loaded with codlemone and pear ester for capturing codling moth, [*Cydia pomonella* (L.)], in apple and pear orchards under mating disruption. J. Ins. Sc., 10: 139.

**Ferro, D.N., R.F. Harwood. 1973.** Intraspecific larval competition by the

codling moth, *Laspeyresia pomonella*. Env. Entomol. 2: 783-789.

**Flatman, G.T., E.J. Englund, A.A Yfantis. 1987.** Geostatistical

approaches to the design of sampling regimes. In: Keith, L.H. (Ed.) Principles of Environmental Sampling. ACS Professional Reference Book. American Chemical Society, Washington.

**Fleischer, S.J., P.E. Blom, R. Weisz. 1999.** Sampling in precision IPM:

When the objective is a map. Phytopathology 89: 1112-1118.

**FUNBAPA. 2006.** Fundación Barrera Zoofitosanitaria Patagónica.

Disponible *on line* en: [www.funbapa.org.ar/carpocapsa](http://www.funbapa.org.ar/carpocapsa).

**García del Moral, F.J., J.A. Rodríguez Bernabé, A. Arranz**

**Romero, J.I. De La Cruz Blanco, F. Honorio Guisado. 2004.**

Técnicas geoestadísticas aplicadas al análisis de la distribución de capturas de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) mediante trampas con feromonas sexuales en una plantación de tomate. Bol. San. Veg. Plagas, 30: 733-744.

**Gehring, R.D., H.F. Madsen. 1963.** Some aspects of the mating and

oviposition behavior of the codling moth, *Carpocapsa pomonella*. J. Econ. Entomol. 56: 140-143.

**Geier, P.W. 1963.** The life history of codling moth, *Cydia pomonella* (L.)

(Lepidoptera: Tortricidae), in the Australian Capital Territory. Aust. J. Zool. 11: 323-367.

- Giayetto, A.L., P. Villarreal. 2010.** Origen e historia de la pera Williams. Cap.1. *En*: Pera Williams. Manual para el productor y el empacador. Ed. COFECYT. 168 pp.
- Glenn, P.A. 1922.** Relation of temperature to development of codling moth. *J. Econ. Entomol.*, 63: 1457-1462.
- González, R.H. 1999.** Polilla del algarrobo, *Spectrobates ceratoniae* (Zeller) (Lep., Pyralidae), una barrera al control de carpocapsa en nogales mediante confusión sexual. *Rev. Frut.* 20: 57-67.
- Google Corp. 2011.** Google Earth V. 6.0. Disponible *on line* en: <http://earth.google.com>.
- Goovaerts, P. 1997.** Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Griffith, D.A. 1988.** Advanced spatial statistics. Special topics in the exploration of quantitative spatial data series. Kluwer Academic Pub., Dordrecht.
- Gut, L., J. Brunner. 1996.** Implementing codling moth mating disruption in Washington pome fruit orchards. *TFREC Inf. Series N°1*. Washington State Univ. Wenatchee, WA.
- Gut, L., J. Brunner. 1998.** Monitoring codling moth in pheromone-treated orchards: comparison of trap designs. *Proc. WOPDMC* 72: 20-21. Portland, OR.
- Gut, L., L. Stelinski, D. Thomson, J. Miller. 2004.** Behavior modifying chemicals: Prospects and constraints in IPM. *In*: Integrated Pest Management: Potential, constraints and Challenges. Chapter 5, pp. 73-122. CABI Publishing.
- Hagley, E.A.C. 1977.** Effect of low temperatures on mortality of hibernating codling moth larvae and fertility of surviving adults. *Can. Entomol.* 109: 123-127.
- Hall, J.A. 1934.** Observations on the behavior of newly hatched codling moth larva. *Can. Entomol.* 66: 100-102.

- Hansen, L.D., R.F. Hardwood. 1968.** Comparisons of diapause and nondiapause larvae of the codling moth *Carpocapsa pomonella*. Ann. Ent. Soc. Am. 61: 1611-1617.
- Hathaway, D.O., A.E. Clift, B.A. Butt. 1971.** Development and fecundity of codling moth reared on artificial diets or immature apples. J. Econ. Entomol. 64: 1088-1090.
- Hern, A., S. Dorn. 1999.** Sexual dimorphism in the olfactory orientation of adult *Cydia pomonella* in response to  $\alpha$ -farnasene. Entomol. Exp. Appl. 92: 63-72.
- Hern, A., S. Dorn. 2002.** Induction of volatile emissions from ripening apple infested with *Cydia pomonella* and the attraction of adult females. Ent. Exp. et Appl. 102: 145-151.
- Hinton, H.E. 1946.** On the homology and nomenclature of setae of lepidopterous larvae, with some notes on the phylogeny of Lepidoptera. Transactions of the Royal Entomological Society of London 97: 1-37
- Horak, M., R. Brown. 1991.** Taxonomy and phylogeny. *In* Tortricid pests. Their biology, natural enemies and control. World Crop Pests. Van Der Geest & Evenhuis (eds.), Elsevier, Amsterdam. Pp. 23-48.
- Howell, J.F. 1972.** Influence of mating on attractiveness of female moth. Environ. Entomol. 1: 125:126.
- Howell, J.F. 1981.** Codling moth: the effect of adult diet on longevity, fecundity, fertility and mating. J. Econ. Entomol. 74: 13-18.
- Howell, J.F. 1988.** Spermathopore number in the codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Olethreutidae). Can. Entomol. 120: 701-710.
- Howell, J.F. 1991.** Reproductive biology. *In* Tortricid pests. Their biology, natural enemies and control. World Crop Pests. Van Der Geest & Evenhuis (eds.), Elsevier, Amsterdam.
- Howell, J.F., A.E. Clift. 1974.** Codling moth: emergence, sex ratio, and abundance. Can. Entomol. 106: 399-402.

- Howell, J.F., J.A. Quist. 1980.** Codling moth: effect of post emergence and location on the predictive value of pheromone traps. Science and Education Adm., U.S. Dep. Agr., N°13, 12 pp.
- Howell, J.F., R. Britt. 1994.** IPM changes associated with using mating disruption to control codling moth in commercial apple production. Proc. Washington Horticultural Association 90: 258-264.
- Howell, J.F., R.B. Hutt, W.B. Hill. 1978.** Codling moth: mating behavior in the laboratory. Ann. Entomol. Soc. Am. 71: 891-895.
- Howell, J.F., R.S. Schmidt, D.R. Horton, S.U. Khattak, L.D. White. 1990.** Codling moth: male moth activity in response to pheromone lure and pheromone-baited traps at different elevations within and between trees. Envir. Entomol. 19: 573-577.
- Hsiao, H.S. 1978.** Circadian activity of *Heliothis zea* at different temperatures studied with an acoustic actograph. Ann. Entomol. Soc. Am. 71: 115-120.
- Hughes, J., S. Dorn. 2002.** Sexual differences in the flight performance of the oriental fruit moth, *Cydia molesta*. Entomol. Exp. Appl. 103: 171-182.
- Hutt, R.B., L.D. White. 1977.** Mating response to visual stimulus in the male codling moth. Env. Entomol. 6: 567-568.
- Ibarra Castillo, D.J., A. Ruiz Corral, D.R. González Eguiarte, J.G. Flores Garnica, G. Díaz Padilla. 2009.** Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. Agr. Téc. Méx. 35: 267-276.
- Ikemoto, T., K. Takai. 2000.** A new linearized formula for the law of total effective temperature and the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. Environ. Entomol. 19: 671-682.
- Il'ichiev, A.L. 2004.** First Australian trials of ethyl (2*E*, 4*Z*)- 2,4-decadienoate for monitoring of female and male codling moth *Cydia pomonella*, (Lepidoptera: Tortricidae) in pome fruit orchards. Gen. Appl. Entomol. 33: 15-20.

- INTA. 2007.** Área irrigada de la provincial de Río Negro. Caracterización socio-económica y técnico-productiva. Ed. INTA, 37 pp. Disponible *on line* en: [www.fruticultura.gov.ar/contenido/AIRN2005.pdf](http://www.fruticultura.gov.ar/contenido/AIRN2005.pdf).
- INTA. 2010.** Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle del INTA. Disponible *on line* en: [www.inta.gov.ar/altovalle/meteorología](http://www.inta.gov.ar/altovalle/meteorología).
- Ioriatti, C., F. Molinari, E. Pasqualini, A. De Cristóforo, S. Schmith, I. Espinha. 2003.** The plant volatile attractant ethyl (*E,Z*)- 2,4-ethyl-decadienoate (DA2313) for codling moth monitoring. Bull. Zool. Agric. 35: 127-137.
- Isaaks, E.H., R.M. Srivastava. 1989.** Applied Geostatistics. Oxford Univ. Press. New York, Oxford. 561 pp.
- Iwao, S. 1968.** A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations. Res. Pop. Ecol. 10: 1-20.
- Jackson, D.M. 1979.** Codling moth egg distribution on undamaged apple trees. Ann. Entomol. Soc. Am. 72: 361-638.
- Jager, J.C., C.W.N. Looman. 1995.** Data collection. Chapter 2. *In*: Data analysis in community and landscape ecology. Ed.: R.H.G. Jongman, C.J.F. Ter Braak & O.F.R. Van Tongeren. Cambridge Univ. Press, 299 pp.
- Jones, V.P., N. G. Wiman, J.F. Brunner. 2008.** Comparison of delayed female mating on reproductive biology of codling moth and obliquebanded leafroller. Environmental Entomology 37: 679-685.
- Jones, V.P., N.G. Wiman. 2008.** Longevity of the adult codling moth, *Cydia pomonella*, and the obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana*, in Washington apple orchards. J. Ins. Sci. 8 (14):1-10.
- Karimzadeh, R., M.J. Hejazi, H. Helali, S. Iranipour, S.A. Mohammadi. 2011.** Analysis of the spatio-temporal distribution of *Eurygaster integriceps* (Hemiptera: Scutelleridae) by using spatial analysis by distance indices and geostatistics. Environ. Entomol. 40: 1253-1265.

- Kawada, H., M. Takagi. 2004.** Photoelectric sensing device for recording mosquito host-seeking behavior in the laboratory. *J. Med. Entomol.* 4: 873-881.
- Keil, S., H. Gu, S. Dorn. 2001.** Response of *Cydia pomonella* to selection on mobility: laboratory evaluation and field verification. *Ecological Entomology* 26: 495-501.
- Kim, J., J. Park, H. Park, K. Cho. 2001.** Unbiased estimation of whiteflies *Trialeurodes vaporariorum*, mean density using yellow sticky traps in cherry tomato greenhouses. *Entomol. Exp. Appl.*, 100: 235-243.
- Klowden, M. 2002.** Physiology systems in insects. Academic Press, Cal. 415 pp.
- Knight, A. 2000.** Monitoring codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with passive interception traps in sex pheromone-treated orchards. *J. Econ. Entomol.* 93: 1744-1751.
- Knight, A. 2007.** Adjusting the phenology model of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Washington State apple orchards. *Environ. Entomol.* 36: 1485-1493.
- Knight, A., D.M. Light. 2001.** Attractants from bartlett pear for codling moth *Cydia pomonella* (L.), larvae. *Naturwissenschaften* 88: 339-342.
- Knight, A., D.M. Light. 2005a.** Factors affecting the differential capture of male and female codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in traps baited with ethyl (E,Z)-2,4,-decadienoate. *Environ. Entomol.* 34: 1161-1169.
- Knight, A., D.M. Light. 2005b.** Developing action thresholds for codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with pear ester and codlemone-baited traps in apple orchards treated with sex pheromone mating disruption. *Can. Entomol.* 137: 739-747.
- Knighth, A., M. Weiss, T. Weissling. 1994.** Diurnal patterns of adult activity of four orchard pests (Lepidoptera: Tortricidae) measured by timing trap and actograph. *J. Agr. Entomol.* 11: 125-136.

- Knight, A., P. VanBuskirk, R. Hilton, B. Zoller, D.M. Light. 2005.** Monitoring codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in four cultivars of pear. *Acta Hort.* 671: 59-64.
- Knight, A., R.P.J. Potting, D.M. Light. 2002.** Modeling the impact of sex pheromone/kairomone attracticide for management of codling moth (*Cydia pomonella*). *Acta Hort.* 584: 215-220.
- Koch, U.T., W. Lüder, S. Clemenz, L. Cichon. 1997.** Pheromone measurements by field EAG in apple orchards. *IOBC Wprs Bull.* 20: 181-190.
- Kovalesky, A., J. Mumford. 2007.** Pulling out the evil by the root: the codling moth *Cydia pomonella* eradication programme in Brazil. *In:* M.J.B. Vreysen, A.S. Robinson and J. Hendrichs (eds.), *Area-Wide Control of Insect Pests*, 581-590. IAEA.
- Landolt, P.J., J.A. Brumley, C.L. Smithhisler, L.L. Biddick, R.W. Hofstetter. 2000.** Apple fruit infested with codling moth are more attractive to neonate codling moth larvae and possess increased amounts of (E,E)-alpha farnesene: *J. Chem. Ecol.* 26: 1685–1699.
- Landolt, P.J., R., W. Hofstetter, P.S. Chapman. 1998.** Neonate codling moth larvae (Lepidoptera: Tortricidae) orient anemotactically to odor of immature apple fruit: *Pan-Pacific Entomol.* 74: 140–149.
- Landolt, P.J., T.W. Phillips. 1997.** Host plant influences on sex pheromone behaviour of phytophagous insects. *Annu. Rev. Entomol.* 42: 371-391.
- Laumann, R. Inéd.** Evaluación en laboratorio de *Goniozus legneri* Gordh (Hymenoptera: Bethyridae) nuevo enemigo natural de *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) en cultivos de nogal de la Provincia de Catamarca, República Argentina. Interacción enemigo natural-plaga-insecticida. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 188 pp.
- Legendre, P., L. Legendre. 1998.** *Numerical Ecology*. 2<sup>nd</sup> English Edition. Elsevier Pub., Amsterdam, The Netherlands, 853 pp.

- Liebhold, A.M., R.E. Rossi, W.P. Kemp. 1993.** Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Ann. Rev. Entomol.* 38: 303-327.
- Liebhold, A.M., X. Zhang, M.E. Hohn, J.S. Elkinton, M. Ticehurst, G.L. Benzon, R.W. Campbell. 1991.** Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass population. *Environm. Entomol.* 20: 1407-1417.
- Light D.M., A. Knight, A. Henrick Clive, D. Rajapaska, B. Lingren, J.C. Dickens, K. M. Reynolds, R.G. Buttery, G. Merrill, B.C. Campbell. 2001.** A pear derived kairomone with pheromonal potency that attracts male and female codling moth, *Cydia pomonella* (L.).- *Naturwissenschaften*, 88: 339-342.
- Lloyd, M. 1967.** Mean crowding. *J. Anim. Ecol.* 36: 1-30.
- Logan, J.A., D.J. Wollkind, S.C. Hoyt, L.K. Tanigoshi. 1976.** An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environ. Entomol.* 5: 1133-1140.
- Luff, M., L. Molyneux, S. Ball. 1979.** An ultrasonic insect movement detector. *Physiol. Entomol.* 4: 147-153.
- MacLellan, C.R. 1962.** Mortality of the codling moth eggs and young larvae in an integrated orchard. *Can. Entomol.* 94: 665-656.
- Mani E., T. Wildbolz. 1977.** The dispersal of male codling moth (*Laspeyresia pomonella*, L.) in the upper Rhine valley. *Z. Ang. Ent.* 83: 161-168.
- Matheron, G. 1963.** Principles of geostatistics. *Econ. Geol.* 5: 1246-1266.
- McNally, P.S., M.M. Barnes. 1980.** Inherent characteristics of codling moth pheromone traps. *Environ. Entomol.* 9: 538-541.
- Moffit, H.R., P.H. Westigard. 1984.** Suppression of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) population on pears in southern Oregon through mating disruption with sex pheromone. *J. of Econ. Entomol.* 77: 1513-1519.
- Morisita, M. 1962.**  $I_s$ -index, a measure of dispersion of individuals. *Res. Popul. Ecol.*, 4: 1-7.

- Nestel, D.M. Klein. 1995.** Geostatistical análisis of leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) colonization and spread in deciduous orchards. *Environ. Entomol.* 24: 1032-1039.
- Olea, R.A. 1991.** Geostatistical glossary and multilingual dictionary. Oxford University Press, New York. 256 pp.
- Parra, E. 2002.** Curso de reconocimiento de especies de lepidópteros presentes en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. 15 pp.
- Perry, J.N., L. Winder, J.M. Holland, R.D. Alston. 1999.** Red-blue plots for detecting clusters in count data. *Ecol. Lett.*, 2: 106-113.
- Pitcairn, M.J., C. Pickel, L. Falcon, F. Zalom. 1991.** Development and survivorship of *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) at ten constant temperatures. *Pan-Pacific Entomol.* 67: 198-194.
- Powell, J.A. 1964.** Biological and taxonomic studies on tortricine moths, with reference to the species in California. *Calif. Ent. Pub., Univ. Calif. Press.*
- Pszczolkowski M.A., J.J. Brown. 2003.** Polyphagy in codling moth neonates. Proceedings of the 77<sup>th</sup> Annual Western Orchard Pest and Disease Management Conference. Portland, OR.
- Putman, W.L. 1963.** The codling moth *Carpocapsa pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). A review with special reference to Ontario. *Proc. Entomol. Soc. Ontario.* 93: 22-60.
- Qi, Y., J. Wu. 1996.** Effects of changing spatial resolution on the results of landscape pattern analysis using spatial autocorrelation indices. *Landscape. Ecol.* 11: 39-49.
- Reed, H.C., P.J. Landolt. 2002.** Attraction of mated females of codling moths (Lepidoptera: Tortricidae) to apples and apple odors in a flight tunnel. *Fla. Entomol.* 85: 324-329.
- Ribes-Dasi, M., M. Bascuñana, J. Avilla. 1998.** Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis herpana* (Denis & Schiffermuller) en Torregrossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos. *Bol. San. Veg. Plagas.* 24: 935-948.

- Riedl, H. 1983.** Analysis of codling moth phenology in relation to latitude, climate and food availability. *In*: Brown, V. and Hodek, I. (eds.). Diapause and life cycles strategies in insects. The Netherlands.
- Riedl, H., B.A. Croft, A.J. Howitt. 1976.** Forecasting codling moth phenology based on pheromone trap catches and physiological time models. *Can. Entomol.* 108: 449-460.
- Riedl, H., B.A. Croft. 1974.** A study of pheromone trap catches in relation to codling moth damage. *Can. Entomol.* 106: 525-537.
- Riedl, H., B.A. Croft. 1978.** The effects of photoperiod and effective temperatures on the seasonal phenology of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Can. Ent.* 110: 455-470.
- Riedl, H., J.F. Howell, P.S. McNally, P. Westigard. 1986.** Codling moth management, use and standardization of pheromone trapping systems. Bull. 1918, University of California, Berkeley. CA.
- Riedl, H., W. Loher. 1980.** Circadian control of oviposition in the codling moth, *Laspeyresia pomonella*, Lepidoptera: Olethreutidae. *Ent. Exp. App.* 27: 38-49.
- Rock, G.C., C.C. Childers, H.J. Kirk. 1978.** Insecticide applications based on codlemone trap catches vs. automatic schedule treatments for codling moth control in North Carolina apple orchards. *J. Econ. Entomol.* 71: 650-653.
- Rock, G.C., P.L. Schaffer. 1983.** Developmental rates of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) reared on apple at four constant temperatures. *Env. Entomol.* 12: 831-834.
- Rodriguez, A.B., A.R. Muñoz. 2006.** Síntesis agrometeorológica para el período 1990-2004. EEA INTA Alto Valle. 50 pp. Disponible *on line* en:[http://www.inta.gov.ar/altovalle/met/PDFs/sintesis\\_agrometeorologica.pdf](http://www.inta.gov.ar/altovalle/met/PDFs/sintesis_agrometeorologica.pdf)
- Rodriguez, M.A., D. Bosch, B. Sauphanor, J. Avila. 2010.** Susceptibility to organophosphate insecticides and activity of detoxifying enzymes in Spanish populations of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Econ. Entomol.* 103: 482-491.

- Roelofs, W.L., A. Comeau, A. Hill, G. Milicevic. 1971.** Sex attractant of the codling moth: characterization with electroantennogram technique. *Science*, 174: 297-299.
- Sanderson, E.D. 1908.** Preliminary report on the life history of the codling moth and spraying experiments against it. *J. Econ. Entomol.* 1: 129-141.
- Schotzko, D.J., C.M. Smith. 1991.** Effects of host plant on the between-plant spatial distribution of the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 84: 1725-1734.
- Schotzko, D.J., S.S. Quisenberry. 1999.** Pea leaf weevil (Coleoptera Curculionidae) spatial distribution in peas. *Environm. Entomol.* 28: 477-484.
- Schumacher, W., A. Weyeneth, D.C. Weber, S. Dorn. 1997.** Long flights in *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) measured by a flight mill: influence of sex, mated status and age. *Physiol. Entomol.* 22: 149-160.
- Sciarretta, A., P. Trematerra, J. Baumgartner. 2001.** Geostatistical análisis of *Cydia funebris* (Lepidoptera: Tortricidae) pheromone trap catches at two spatial scales. *Am. Entomol.* 47: 174-183.
- SENASA. 2006.** Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Programa Nacional de Supresión de Carpocapsa. Disponible *on line* en <http://www.senasa.gov.ar/contenido.php?to=n&in=1369&io=8383>.
- Shel'Deshova, G. G. 1967.** Ecological factors determining distribution of codling moth, *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) in northern and southern hemispheres. *Entomological Review*, 46: 349-361.
- Sieber, R., G. Benz. 1980.** The hormonal regulation of the larval diapause in the codling moth, *Laspeyresia pomonella* (Lep.: Tortricidae). *J. Insect. Physiol.* 26: 213-218.
- Slingerland, M. V. 1898.** Codling moth. *Cornell Univ. Agric. Exp. Sta. Bull.* 142: 69.

- Soleño, J., L. Anguiano, A. Pechén de D'Angelo, L. Cichón, D. Fernández, C. Montagna. 2008.** Toxicological and biochemical response to azinphos-methyl in *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) among orchards from the Argentinian Patagonia. *Pest Manag Sci.* 64: 964-970.
- Solomon, M.E. 1991.** Ecology and population dynamics. *In* Tortricid pests. Their biology, natural enemies and control. World Crop Pests. Van Der Geest & Evenhuis (eds.), Elsevier, Amsterdam. Pp. 209-234.
- Southwood, T.R.E. 1978.** Ecological methods. 2<sup>o</sup> Ed. Chapman and Hall, London. 524 pp.
- Sutherland, O.R.W., R.F.N. Hutchins. 1972.**  $\alpha$ -Farnasene, a natural attractant for codling moth larvae. *Nature.* 239: 170.
- Szentkiralyi, F., F. Kozar. 1991.** How many species are there in apple insect communities? Testing the resource diversity and intermediate disturbance hypotheses. *Ecological Entomol.* 16: 491–503.
- Tassara, M.A. 2007.** Las heladas primaverales. Protección en frutales de clima templado-frío. Ed. INTA, Argentina. 160 pp.
- Taylor, L.R., I.P. Woiod, J.N. Perry. 1978.** The density-dependence of spatial behaviour and the variety of randomness. *J. Anim. Ecol.* 47: 383-406.
- TFREC. 2010.** Areawide II Proyect. Codling moth mating disruption revisited in 2002. Vol. 4, N<sup>o</sup>2. Disponible *on line* en: <http://:tfrec.wsu.edu/pages/AWII/news040102>, last updated 16 Dec. 2010.
- Travis, J.W., E.G. Rajotte. 1995.** Implementing IPM through new technology and the non-agricultural community. *J. Agr. Entomol.* 12: 219-227.
- Trematerra, P., J.W. Brown. 2004.** Argentine *Argyrotaenia* (Lepidoptera: Tortricidae): synopsis and descriptions of two new species. *Zootaxa*, 574: 1-12.
- Trematerra, P., P. Gentile, A. Sciarretta. 2004.** Spatial analysis of pheromone trap catches of codling moth (*Cydia pomonella*) in two

heterogeneous agro-ecosystemes, using geostatistical techniques.  
*Phytoparasitica* 32: 325-341.

**Tremblay, E. 1986.** *Entomologia applicata*. Vol. 2. Ed. Liguori. Napoli, Italia.

**Vakenti, J.M., H.F. Madsen. 1976.** Codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae): monitoring population in apple orchards with sex pheromone traps. *Can. Entomol.* 108: 433-438.

**Vermeulen, J., L. Cichón, E. Parra. 1989.** Sistema de alarma termoacumulativo para el control de carpocapsa (*Cydia pomonella*, L.) para el Alto Valle del Río Negro y Neuquen. INTA 16 pp.

**Vickers, R.A. 1977.** Effect of delayed mating on oviposition pattern, fecundity and fertility in codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Aust. J. Entomol.* 36: 179-192.

**Vickers, R.A., G.H.I. Rothschild. 1991.** Use of sex pheromone for control of codling moth. *In* *Tortricid Pests: Their Biology, Natural Enemies and Control*. World Crop Pests, ed. by W. Helle, Elsevier, pp. 339-354.

**Villarreal, P., A. Santagni. 2004.** Pautas tecnológicas: frutales de pepita. Ed. INTA Alto Valle, General Roca, Argentina. 126 pp.

**Villarreal, P., A. Tappatá, G. Magnarelli, L. Tamburo, C. Cartes, M. Villegas. 2003.** Evaluación técnico económica. Impacto de la carpocapsa (*Cydia pomonella* L.) en la producción de fruta de pepita de la Norpatagonia Argentina. Ed. FUNBAPA. 50 pp.

**Villarreal, P., S. Mattei, M. Villegas Nigra, G. Forchetti. 2010.** Evaluación del impacto del Programa Nacional de Supresión de Carpocapsa en la fruticultura de pepita de los valles irrigados de la norpatagonia. Ed. FUNBAPA, 79 pp. Disponible *on line* en: [www.funbapa.org.ar/carpocapsa/impacto%20carpocapsa.pdf](http://www.funbapa.org.ar/carpocapsa/impacto%20carpocapsa.pdf).

**Villarino, B. 1783.** Diario del piloto de la Real Armada, don Basilio Villarino. Del reconocimiento que hizo del Río Negro, en la costa oriental de Patagonia, el año de 1782. Buenos Aires, Imprenta del Estado.

- Waldner, W. 1997.** Three years of large scale control of codling moth by mating disruption in South Tyrol. Italy. IOBC/WPRS Bull., 20: 35-44.
- Wearing, C.H., R.F.N. Hutchins. 1973.**  $\alpha$ -farnasene, a naturally occurring oviposition stimulant for the codling moth *Laspeyresia pomonella*. J. Ins. Physiol. 19: 1251-1256.
- Weitzner, P., M. Whalon. 1987.** Head capsule widths as an indicator of the larval instar of codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae). The Great Lakes Entomol. 20: 147-150.
- Westgood, M.N. 1978.** Temperate zone pomology. W.H. Freeman ed., San Francisco, CA.
- Westgard, P.H., L. Gentner, B.A. Butt. 1976.** Codling moth: egg and first instar mortality on pear with special reference to varietal susceptibility. Environm. Entomol. 5: 51-75.
- White, L.D., R.B. Hutt, B.A. Butt. 1973.** Field dispersal of laboratory-reared female codling moth and population suppression by release of sterile males. Environm. Entomol. 2: 66-69.
- Wildbolz, T., W. Riegenbach. 1969.** Untersuchungen über die induction und die beendigung der diapause bei apfelwicklern aus de zentral- und Östschweiz. Mitt. Schweiz. Ent. Ges. 42: 56-78.
- Witzgall, P., A. Bäckman, M. Svensson, U. Koch, F. Rama, A. El-Sayed, J. Brauchli, H. Arn, M. Bengtsson, J. Löfqvist. 1999.** Behavioral observations of codling moth, *Cydia pomonella*, in orchards permeated with synthetic pheromone. BioControl 44: 211-237.
- Witzgall, P., L. Stelinski, L. Gut, D. Thompson. 2008.** Codling moth management and chemical ecology. Annual Review of Entomology 53: 503-522.
- Wong, T.T., M.C. Cleveland, D.F. Ralston, D.G. Davis. 1971.** Time of sexual activity of codling moth in the field. J. Econ. Entomol. 64: 553-554.
- Worthley, H.N., J.E. Nicholas. 1937.** Tests with bait and light to trap codling moth. J. Econ. Entomol. 30: 417-422.

**Yang, Z., D. Casado, C. Ioriatti, M. Bengtsson, P. Witzgall. 2005.**

Pheromone pre-exposure and mating modulate codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) response to host plant volatiles. *Agric. For. Entomol.* 7: 231-236.

**Yokoyama, V., G. Miller. 1988.** Laboratory evaluation of codling moth

(Lepidoptera: Tortricidae) oviposition on three species of stone fruit grown in California. *J. Econ. Entomol.* 81: 568-572.