



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**CONFUSIÓN SEXUAL SIMULTÁNEA Y ESTRATEGIAS  
MULTIESPECIES CON FEROMONAS: UNA REVISIÓN  
SISTEMÁTICA CUALITATIVA**

Tesis/AFE para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al Grado de  
Magíster en Ciencias Agropecuaria

**CAMILA FRANCISCA SAAVEDRA PARRA**

Director de Tesis/AFE

Tomislav Curkovic

Profesores consejeros

SANTIAGO – CHILE

2022

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**CONFUSIÓN SEXUAL SIMULTÁNEA Y ESTRATEGIAS MULTIESPECIES  
CON FEROMONAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CUALITATIVA**

Tesis/AFE presentada como parte de los requisitos para optar al Grado de Magíster en  
Ciencias Agropecuarias, Departamento de Sanidad Vegetal

**CAMILA FRANCISCA SAAVEDRA PARRA**

	Calificaciones (Memoria de Título)	Calificaciones (Tesis de Grado)
GUIA DE TESIS/AFE		
Sr. Tomislav Curkovic S. Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,4	6,4
PROFESORES/AS CONSEJEROS/AS		
Sr. Luis Sazo R. Ingeniero Agrónomo	6,3	6,3
Sra. Gabriela Lankin V. Ingeniero Agrónomo MS. Ph. D.	5,1	5,1

Santiago, Chile  
2022

## TABLA DE CONTENIDO

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>4</b>
	3.1 Criterios De Inclusión	4
	3.1.1 Área y Fenómeno de Interés	4
	3.1.2 Estrategias de Búsqueda y Tipos de Estudios.	4
	3.1.3 Términos de Búsqueda	4
	3.2 Criterios de Exclusión	4
	3.3 Evaluación de la Calidad Metodológica	5
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>6</b>
	4.1 Artículos Incluidos	6
	4.2 Calidad Metodológicas	7
	4.3 Categorización Temática y Meta- Agregación de los Datos	15
	4.4 Resultados de Fuentes Bibliográficas	16
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>21</b>
	5.1 Estrategias a Base de Feromonas y Especies Importantes	21
	5.2 Confusión Sexual Simultánea	23
	5.2.1 Mecanismos de Confusión	23
	5.2.2 Dispensadores y Tasa de Liberación	25
	5.2.3 Interacción e Interferencia entre Componentes de Feromonas	28
	5.2.4 Fenología y Hábito de Desplazamiento	30
	5.2.5 Conducta sexual	31
	5.3 Otras Tecnologías Multiespecies en Base a Feromonas	34
	5.3.1 Trampeo Multi Especies	34
	5.3.2 Atracticida Multiespecies	36
	5.3.3 Autoconfusión	36
	5.4 Especies Manejadas con Estrategias de Feromonas Multiespecies	37
	5.4.1 Lepidópteros	37
	5.4.2 Coleópteros	37
	5.4.3 Hemípteros	37
	5.4.4 Himenóptera	38
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>39</b>
<b>VII.</b>	<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>40</b>

## ÍNDICE DE TABLA

<b>Tabla 1:</b> Calidad metodológica de los estudios incluidos de acuerdo con ponderación Q(%)	<b>7</b>
<b>Tabla 2:</b> Resumen bibliográfico de las principales especies y técnicas feromonales multiespecies.	<b>16</b>
<b>Tabla 3:</b> Emisores de Confusión sexual simultánea registradas en el mercado mundial	<b>26</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Diagrama de flujo PRISMA	<b>6</b>
<b>Figura 2:</b> Categorización temática y meta-agregación de los datos	<b>15</b>
<b>Figura 3:</b> Número de especies por técnica de manejo con feromona	<b>22</b>

## RESUMEN

La comunicación química, en insectos plaga, es un área de estudio ampliamente explorada con los objetivos de desarrollar estrategias alternativas o complementarias al uso de insecticidas tanto en los ámbitos agrícolas, forestales como urbanos, siendo las feromonas el semioquímico más utilizado, a través de tácticas de manejo como la confusión sexual, monitoreo, trampeo masivo y atracticidas. Las herramientas en base a feromonas proporcionan ciertas ventajas como su acción específica, pero en situaciones donde hay complejos de especies plagas en una misma área, se dificulta el uso de estas técnicas individualmente. Bajo este escenario se han desarrollado las estrategias multiespecies basadas en feromonas, como la confusión sexual, el trampeo y atracticidas simultáneos, los cuales monitorean o controlan dos o más plagas significativas en un mismo campo, con la mezcla de los componentes feromonales de estas especies en la misma fuente, reduciendo de esta manera las dificultades asociadas a estas estrategias aplicadas individualmente y a sus costos. Sin embargo, a la hora de desarrollar estas tecnologías multiespecies se ha de tener en cuenta varios desafíos o limitaciones como la coincidencia fenológica de las especies, la composición química de la mezcla feromonal artificial, la respuesta conductual de los individuos a esta combinación de compuestos, los mecanismos de confusión de las especies a controlar, la carga inicial adecuada, su tasa de liberación al ambiente, y el número de emisores y disposición en el campo

**Palabras Claves:** “Feromona Sexual”, “Interrupción del Apareamiento”, “Mezcla de Feromona”, “Ecología Química”, “Atracticida Multiespecies”, “Trampeo Multiespecies”, “Monitoreo Multiespecies”, “Autoconfusión”, “Mecanismo de Interrupción”, “Comportamiento Sexual”, “Autodetección”.

## ABSTRACT

Chemical communication in insect pests is a widely explored area of study with the objectives of developing alternative or complementary strategies to the use of insecticides in both agricultural, forestry and urban areas, with pheromones being the most widely used semiochemical, through management tactics such as mating disruption, monitoring, mass trapping and attracticides. Pheromone-based strategies provide some advantage as their specific action, but in situations where there are complexes of pest species in an area, it is difficult to use these techniques individually. Under this scenario, multiple-species pheromone-based strategies have been developed, such as simultaneous mating disruption, trapping and attracticide, which monitor or control two or more significant pests in the same field or area, with the combined of the pheromonal components of these species in the same source, thus reducing the difficulties that these pheromone strategies have individually and their costs. However, when developing these multispecies technologies, several challenges or limitations must be taken into account, such as the phenological coincidence of the species, the chemical composition of the artificial pheromonal mixture, the behavioral response of individuals to this combination of compounds, the mechanisms of disruption of the species to be controlled, the appropriate initial load, their release rate into the environment, and the number of emitters and distribution in the field.

**Keywords:** “Sex Pheromone”, “Mating Disruption”, “Blend Pheromone”, ”Chemical Ecology”, “Multi-especies Attracticide”, “Multi-species Trapping”, "Multi-species Monitoring“, "Mass Trapping”, “Autoconfusion”, “Disruption Mechanisms” ,”Sex Behavior”, “Autodetection”

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro de las señales que median interacciones ecológicas entre organismos están las feromonas, que son semioquímicos involucrados en la comunicación intraespecífica (De Pascual et al. 2022; Symonds y Elgar, 2008), estas, según el tipo de interacción que median, pueden ser sexuales, de alarma, de agregación entre otras (Tewari, et al., 2014). Pueden afectar tanto la fisiología como el comportamiento de organismos (Symonds y Elgar, 2008), siendo las feromonas que tienen efecto sobre este último aspecto, las más utilizadas en los programas de manejo integrado de plagas (MIP).

Una de las tecnologías más usadas en el manejo de plagas con feromonas es la interrupción del apareamiento o confusión sexual (CS), las cual es una tecnología de gestión de plagas basada en la inhabilitación o pérdida de la capacidad del macho para ubicar (desorientación) a las hembras receptivas en el campo (González et al., 1990), con el fin de evitar el apareamiento y, por tanto, su reproducción y descendencia, de manera de interrumpir el ciclo de vida natural de esta (Cichón et al., 2001). Para ello, usualmente se dispone gran cantidad de fuentes con altas cargas de feromona sexual sintética dentro de un área de cultivo, las que afectan la conducta de la especie objetivo (Kim et al., 2018).

La CS y las diferentes tecnologías en base a feromonas han mostrado gran eficacia, inocuidad y ausencia de riesgos conocidos para las personas y el medio ambiente, incluso contribuyendo a conservar la biodiversidad presente en los campos tratados. Debido a su modo de acción único, estas estrategias se pueden incorporar en los programas de manejo integrado de plagas sin interferir con otras herramientas como el control biológico (Curkovic y Brunner, 2003), y es también compatible con la producción orgánica o la convencional. Además, normalmente conduce a una reducción en el número de aplicaciones de insecticidas químicos convencionales, reduciendo los riesgos (intoxicación, contaminación ambiental) y limitantes comerciales (restricciones de mercado) asociadas a su uso, al tiempo que ayuda a prevenir la resistencia a los insecticidas (Suckling et al., 1990), e incluso puede ser una herramienta para revertirla.

Considerando todos los beneficios anteriores, pero al mismo tiempo teniendo presente su especificidad, la cual es una limitante de la técnica usada individualmente, en el caso de la CS, surge el concepto de desarrollar e implementar la interrupción del apareamiento multiespecies o confusión sexual simultánea (CSS). La CSS busca evitar la cópula de dos o más plagas significativas en un campo, con la mezcla de los componentes feromonaes de cada especie en una única formulación (Judd y Gardiner, 2004; Kim et al., 2018).

Este concepto puede ser una solución para el problema de brotes de plagas secundarias que ocurren cuando se usa confusión sexual individual (que por definición es específica), y a la vez, para reducir el mayor costo que significa el uso, en el mismo lugar, de CS individual contra varias especies (Steffan, et al., 2017; Stelinski, et al., 2007). Este tipo de estrategias multiespecie, igualmente se puede implementar para diferentes tecnologías en base feromonas, tantos trampeos masivos o atracticidas.

El manejo de *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) con CS en reemplazo de insecticidas de amplio espectro en el estado de Washington (EE. UU) es un buen ejemplo

de cómo la interrupción del apareamiento al usar esta técnica ha resultado en la aparición de tortricidos secundarios produciendo daños en las plantas (Gut y Brunner, 1998). Es por ello que desde hace un tiempo se sugiere como solución ampliar el rango de acción de la CS combinando componentes de feromonas de varias especies plagas (Evenden, et al., 1999a; Evenden, et al., 1999b; Judd y Gardiner, 2004).

A raíz de lo anteriormente mencionado, la presente revisión tiene como objetivo presentar y analizar los casos de estudios de la CSS, y los beneficios y las limitaciones u/o desafíos de la implementación de esta técnica. E igualmente mencionar otras estrategias a base de feromonas con carácter multiespecies. Y referir las jerarquías taxonómicas de las especies de insectos en que estos métodos se han estudiado.



## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Revisar, contrastar y compilar de manera sistemática a través de fuentes confiables, la bibliografía asociada a la interrupción del apareamiento multiespecie, y tácticas multiespecies con feromonas; y sus usos en el manejo integrado de plagas.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Reportar los principales órdenes y familias de artrópodos de interés económico en la entomología agrícola, forestal y urbana que aplican o están asociados a manejo integrado de plagas con feromonas multiespecies o simultáneas, como confusión sexual, trampeo masivo, atracticida y autoconfusión.

Establecer los desafíos a considerar a la hora de desarrollar e implementar confusión sexual simultánea y otras estrategias de manejo multiespecies con feromonas, contra artrópodos plagas.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación considera los criterios de la declaración PRISMA (versión PRISMA-P, Moher et al., 2015) con el objetivo de realizar una revisión sistemática de carácter cualitativa que ayude a responder la pregunta guía investigativa, ¿Cuáles son los mayores desafíos y factores a tener en cuenta, para desarrollar/realizar confusión sexual simultánea? ¿qué otras tácticas de mezcla de semioquímicos existen actualmente?

#### 3.1 Criterios de Inclusión

##### 3.1.1 Área y Fenómeno de interés

El área de estudio está relacionada con las estrategias de CSS y otras tácticas de feromonas multiespecies, así mismo, a estudios relacionados con la ecología química y comportamiento de insectos plagas. El fenómeno de interés son los mecanismos de confusión, fenología de especies, comportamiento y conducta sexual, interrupción cruzada, dispositivos de confusión, antagonismo y sinergismo de feromona inter e intraespecífica. Además de las distintas especies asociadas a estas estrategias.

##### 3.1.2 Estrategia de Búsqueda y Tipos de estudios

La búsqueda se realizó en las bases de datos Web of Science, Scopus, Science Direct, Springer y Pherobase, considerando como criterio de inclusión los idiomas: español, inglés e italiano. Se revisaron estudios de carácter experimental.

##### 3.1.3. Términos de Búsqueda

Las palabras claves para la búsqueda fueron “Sex Pheromone”, “Mating Disruption”, “Pheromone Blend”, “Chemical Ecology”, “Multispecies”. “Attacticide”, “Multispecies Trapping”, “Monitoring”, “Mass trapping”, “Autoconfusion”, “Disruption mechanisms”, “Sex behavior”, “Autodetection”

#### 3.2 Criterios de Exclusión

Todos los estudios de Ecología Química, asociados a comunicación interespecíficas con aleloquímicos, como kairomonas, alomona y sinomonas. Todas las publicaciones con idiomas que no fueran inglés, español e italiano.

Todos los estudios pasaron por el criterio PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) por lo que se excluyeron las publicaciones duplicadas en las distintas fuentes de datos y aquellos que no cumplían con los criterios de inclusión.

### 3.3 Evaluación de la Calidad Metodológica

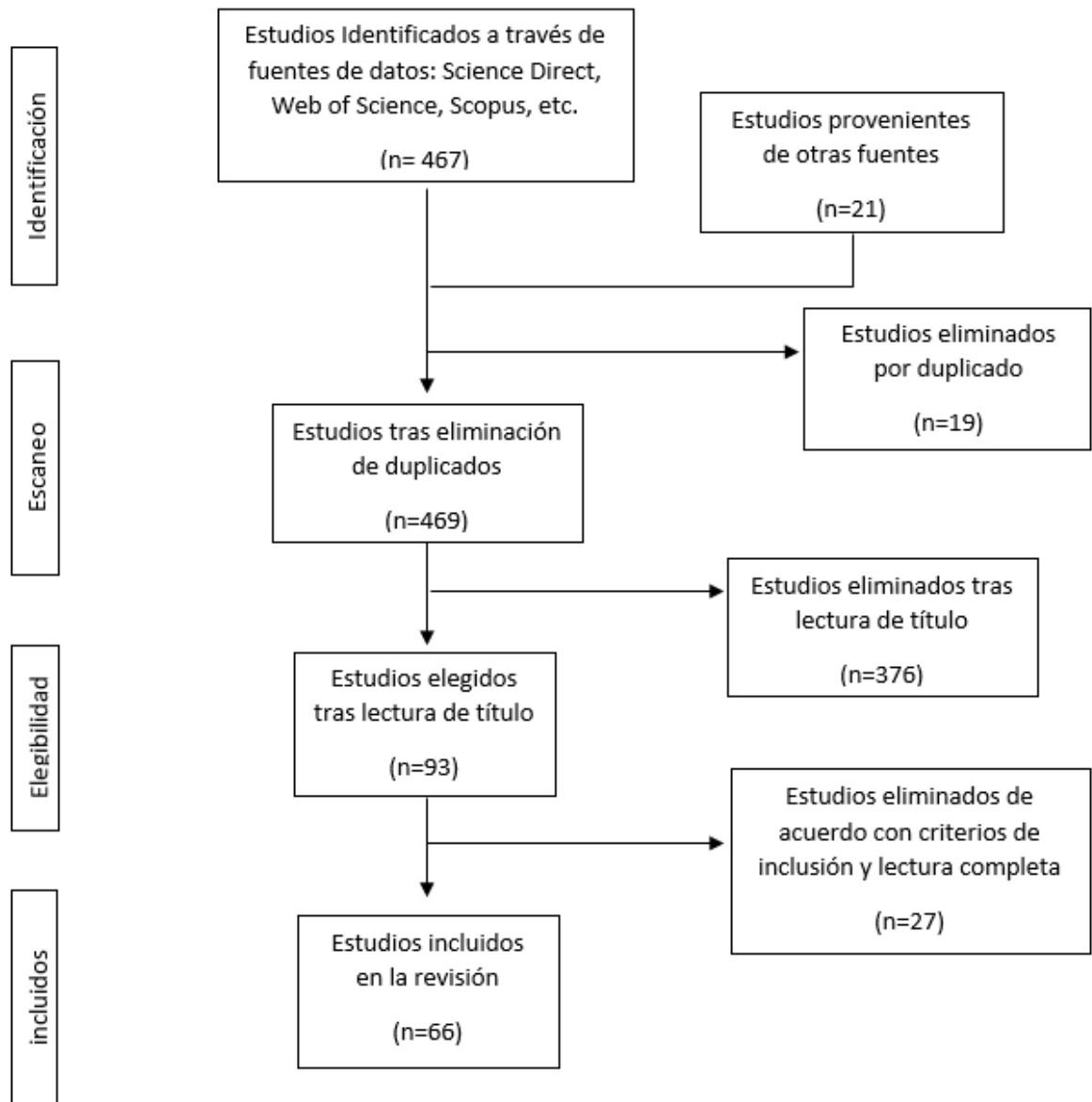
Cada artículo se sometió a una revisión y evaluación a través de la herramienta *JBI Critical Appraisal Checklist for Qualitative Research*. Este consiste en someter cada uno de los estudios a 10 preguntas (Q) con el fin de valorar y calificar la calidad metodológica de cada artículo. Las preguntas para los estudios cuantitativos fueron: ¿Es la pregunta de investigación clara? (Q1), Congruencia entre la metodología de estudio con la pregunta de investigación (Q2), Tamaño adecuado de las muestras (Q3), Tratamiento de control adecuado (Q4), Análisis estadístico adecuado (Q5), Conclusión respaldada por los resultados (Q6), Coherencia entre los objetivos planteados y los resultados (Q7), Mención de hallazgos similares realizados por otros autores (Q8), Adecuada redacción e interpretación de las conclusiones finales del estudio (Q9), Contribución del estudio al entendimiento del fenómeno, y/o implementación o desarrollo de tecnologías asociadas (Q10).

Cada pregunta (Q) fue sometida a 4 categorías “Sí/No/No aplica/Poco claro”, a las cuales se les asignó un valor numérico de 1 si la respuesta es positiva, “Sí”, y 0 para cada respuesta negativa, “No/No aplica/Poco claro”. Cada estudio seleccionado en esta revisión fue sometido al set de 10 preguntas, siendo 10 el valor máximo. Finalmente, el resultado de todos los estudios se suma y se presenta en términos porcentuales.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Artículos Incluidos

De acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión mencionados anteriormente, se obtuvieron un total de 66 artículos. Los resultados de la búsqueda bibliográfica se detallan en la **Figura 1**.



**Figura 1:** Diagrama de flujo PRISMA: Proceso de selección, exclusión y número de estudios incluidos en la revisión.

## 4.2 Calidad Metodológica

De los artículos analizados, bajo la prueba de calidad metodológica adaptado apropiadamente del instrumento JBI- Qualitative Critical Appraisal Checklist, su ponderación en la revisión fue de 95%.

**Tabla 1:** Calidad metodológica de los estudios incluidos de acuerdo con ponderación Q (%)

Autor	Fecha	Título	Revista	Q%
Altesor, et al.	2010	Reproductive behaviour of <i>Crociosema (=Epinotia) aporema</i> (Walsingham) (Lepidoptera: Tortricidae): temporal pattern of female calling and mating	Neotropical Entomology	100
Atterholt, et al.	1999	Controlled release of insect sex pheromones from paraffin wax and emulsions	Journal of Controlled Release	90
Baker and Carde	1979	Courtship Behavior of the Oriental Fruit Moth ( <i>Grapholitha molesta</i> ) <sup>1</sup> : Experimental Analysis and Consideration of the Role of Sexual Selection in the Evolution of Courtship Pheromones in the Lepidoptera	Annals of the Entomological Society of America	100
Baroffio, et al.	2018	Combining plant volatiles and pheromones to catch two insect pests in the same trap: Examples from two berry crops	Crop Protection	90
Beker and Haynes	1996	Pheromone-mediated optomotor anemotaxis and altitude control exhibited by male oriental fruit moths in the field.	Physiological Entomology	100
Bohnenblust, et al.	2011	A comparison of various mating disruption technologies for control of two internally feeding Lepidoptera in apples	Entomologia Experimentalis et Applicata	100
Brockerhoff, et al.	2013	Improving the Efficiency of Lepidopteran Pest Detection and Surveillance: Constraints and Opportunities for Multiple-Species Trapping	Journal of Chemical Ecology	100
Coracini et al.	2003	Codling moth males do not discriminate between pheromone and a pheromone/antagonist blend during upwind flight	Naturwissenschaften	90

Curkovic and Brunner	2005	Residual and sub-lethal effects of an attracticide formulation on <i>Choristoneura rosaceana</i> (Harris), <i>Pandemis pyrusana</i> Kearfott, and <i>Cydia pomonella</i> (L.) males (Lepidoptera: Tortricidae)	Crop Protection	100
Curkovic, et al.	2006	Courtship Behavior in <i>Choristoneura rosaceana</i> and <i>Pandemis pyrusana</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Annals of the Entomological Society of America	100
Curkovic and Brunner	2007	Short communication. Pheromone inhibitors for <i>Pandemis pyrusana</i> males (Lepidoptera: Tortricidae)	Spanish Journal of Agricultural Research	100
Curkovic, et al.	2009	Field and laboratory responses of male leaf roller moths, <i>Choristoneura rosaceana</i> and <i>Pandemis pyrusana</i> , to pheromone concentrations in an attracticide paste formulation	Journal of Insect Science	100
Curkovic y Ferrera	2010	Autoconfusión: una nueva tecnología en base a feromonas para el control de <i>Lobesia botrana</i> en Chile.	Aconex	100
Deng, et al.	2022	Enhancement of attraction to sex pheromone of <i>Grapholita molesta</i> (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) by structurally unrelated sex pheromone compounds of <i>Conogethes punctiferalis</i> (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae)	Journal of Asia-Pacific Entomology	100
Dissanayaka, et al.	2020	Distance and height of attraction by walking and flying beetles to traps with simultaneous use of the aggregation pheromones from <i>Tribolium castaneum</i> (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) and <i>Rhyzopertha dominica</i> (F.) (Coleoptera: Bostrychidae)	Journal of Stored Products Research	100
Eizaguirre, et al.	2007	Inhibition of pheromone response in <i>Sesamia nonagrioides</i> by the pheromone of the sympatric corn borer, <i>Ostrinia nubilalis</i>	Pest Management Science	100

Evenden, et al.	1999	Simultaneous disruption of pheromone communication in <i>Choristoneura rosaceana</i> and <i>Pandemis limitata</i> with pheromone and antagonist blends	Journal of Chemical Ecology	90
Evenden, et al	1999	Mating Disruption of Two Sympatric, Orchard-Inhabiting Tortricids, <i>Choristoneura rosaceana</i> and <i>Pandemis limitata</i> (Lepidoptera: Tortricidae), with Pheromone Components of Both Species' Blends	Journal of Economic Entomology	100
Evenden and Mcclaughlin	2005	Male Oriental Fruit Moth Response to a Combined Pheromone-Based Attracticide Formulation Targeting Both Oriental Fruit Moth and Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae)	Journal of Economic Entomology	100
Gemeno, et al	2006	Pheromone Antagonism in the European Corn Borer Moth <i>Ostrinia nubilalis</i>	Journal of Chemical Ecology	100
Harari, et al.	2011	Fitness cost of pheromone production in signaling female moths	International Journal of Organic Evolution	100
Il'ichev, et al.	2007	Dual pheromone dispenser for combined control of codling moth <i>Cydia pomonella</i> L. and oriental fruit moth <i>Grapholita molesta</i> (Busck) (Lep., Tortricidae) in pears	Journal of Applied Entomology	100
Igarachi, et al.	2020	Perception of Heterospecific Sex Pheromone Causes Less Effective Mating Disruption in the Beet Semilooper, <i>Autographa nigrisigna</i> (Lepidoptera: Noctuidae)	Journal of chemical Ecology	100
James et al	2000	Efficacy of multispecies pheromone lures for <i>Carpophilus davidsoni</i> Dobson and <i>Carpophilus mutilatus</i> Erichson (Coleoptera: Nitidulidae)	Australian Journal of Entomology	50
Johansson, et al.	2002	Multispecies trapping of six pests of scots pine in Sweden and Poland	Journal of Applied Entomology	50
Jones et al.	2009	Development of a Combined Sex	Environmental	100

		Pheromone-based Monitoring System for <i>Malacosoma disstria</i> (Lepidoptera: Lasocampidae) and <i>Choristoneura conflictana</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Entomology	
Juárez, et al.	2015	Communication interference in sympatrically occurring moth species	Entomologia Experimentalis et Applicata	100
Judd y gardiner	2004	Simultaneous disruption of pheromone communication and mating in <i>Cydia pomonella</i> , <i>Choristoneura rosaceana</i> and <i>Pandemis limitata</i> Lepidoptera: Tortricidae) using Isomate-CM/LR in apple orchards	Journal of the Entomological Society of British Columbia	80
Judd, et al.	2005	Reduced antennal sensitivity, behavioural response, and attraction of male codling moths, <i>Cydia pomonella</i> , to their pheromone (E,E)-8,10-dodecadien-1-ol following various pre-exposure regimes.	Entomologia Experimentalis et applicata	100
Kim, et al.	2015	A trap baited with multiple pheromones attracts sympatric hemipteran pests of sweet persimmon	Journal of Asia-Pacific Entomology	100
Kim, et al.	2018	Simultaneous mating disruption of two <i>Grapholita</i> species in apple orchards	Journal of Asia-Pacific Entomology	80
Knight and Larsen	2004	Improved Deposition and Performance of a Microencapsulated Sex Pheromone Formulation for Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) with a Low Volume Application	Journal of the Entomological Society of British Columbia	100
Knight	2007	Multiple mating of male and female codling moth (Lepidoptera :Tortricidae) in apple orchards treated with sex pheromone	Environmental Entomology	100
Knight	2003	Testing an attracticide hollow fibre formulation for control of Codling Moth, <i>Cydia pomonella</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Journal of the Entomological Society of British Columbia	100
Koch, et al.	2002	Calibration of an EAG system to measure airborne concentration of pheromone	Journal of Applied	90



		formulated for mating disruption of the pink bollworm moth, <i>Pectinophora gossypiella</i> (Saunders) (Lep., Gelechiidae)	Entomology	
Kuhns, et al	2012	Reduced Mating Success of Female Tortricid Moths Following Intense Pheromone Auto-Exposure Varies with Sophistication of Mating System	Journal of Chemical ecology	100
Lim and Greenfield	2007	Female pheromonal chorusing in an arctiid moth, <i>Utetheisa ornatrix</i>	Behavioral Ecology	100
Lim and Greenfield	2008	Female arctiid moths, <i>Utetheisa ornatrix</i> , orient towards and join pheromonal choruses.	Animal Behaviour	100
Lucchi, et al.	2018	Disrupting mating of <i>Lobesia botrana</i> using sex pheromone aerosol devices	Environmental Science and Pollution Research	100
Mitchell, et al.	2015	Cerambycid Beetle Species with Similar Pheromones are Segregated by Phenology and Minor Pheromone Components	Journal of Chemical Ecology	100
Moffit and Westigard	1984	Suppression of the Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) Population on Pears in Southern Oregon through Mating Disruption with Sex Pheromone	Journal of Economic Entomology	90
Palaniswamy and Seabrook	1985	The alteration of calling behaviour by female <i>Choristoneura fumiferana</i> when exposed to synthetic sex pheromone.	Entomologia experimentalis et applicata	90
Pearson, et al.	2004	Modeling intra-sexual competition in a sex pheromone system: how much can female movement affect female mating success?	Journal of Theoretical Biology	100
Perez, et al.	2022	A closer look at sex pheromone autodetection in the Oriental fruit moth	Scientific Reports	100
Reherman	2006	Comunicación química intra-sexual en lepidópteros: <i>Pseudaletia adultera</i> como modelo de estudio.	Tesis de Magister	90

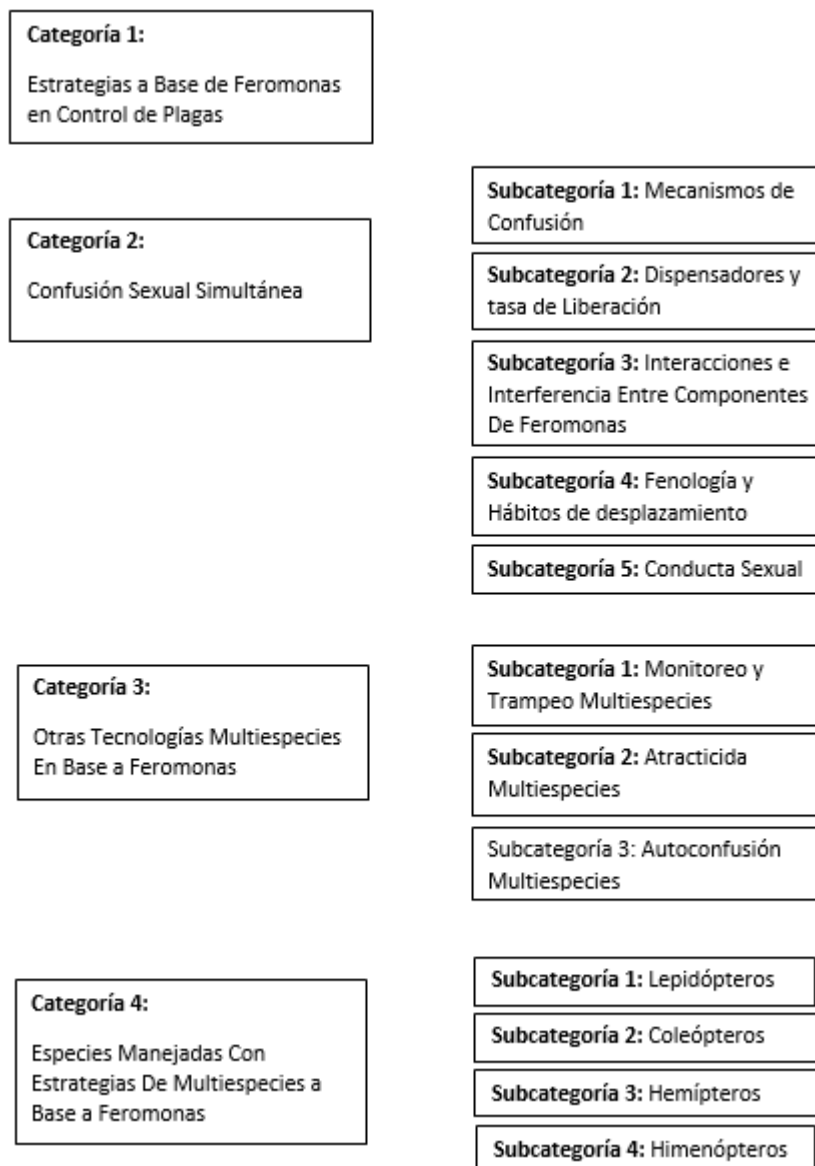
Reinke, et al.	2013	Pheromone release rate determines whether sexual communication of Oriental fruit moth is disrupted competitively vs. non-competitively	Entomologia Experimentalis et Applicata	100
Rice, et al.	2020	Complex Blends of Synthetic Pheromones are Effective Multi-Species Attractants for Longhorned Beetles (Coleoptera: Cerambycidae)	Journal of Economic Entomology	90
Saad and Scoot	1981	Repellency of pheromones released by females of <i>Heliothis armigera</i> and <i>H. zea</i> to females of both species	Entomologia experimentalis et applicata	90
Schmitz, et al.	1995	Etude du mecanisme de la confusion sexuelle chez l'Eupestele de la vigne ( <i>Lobesia botrana</i> Den et Schiff.). I. Roles respectifs de la competition, du camouflage de la piste odorante et de la modification du signal pheromonal.	Journal of Applied Entomology	100
Schmitz, et al.	1997	Disruption mechanisms in the European grape moth <i>Lobesia botrana</i> Den & Schiff. III. Sensory Adaptation And Habituation.	Journal of Chemical Ecology	100
Steffan, et al.	2017	Multi-Species Mating Disruption in Cranberries (Ericales: Ericaceae): Early Evidence Using a Flowable Emulsion	Journal of Insect Science	100
Stelinski, et al.	2004	Behaviors of Naïve Vs. Pheromone-Exposed Leafroller Moths in Plumes From High-Dosage Pheromone Dispensers in a Sustained-Flight Wind Tunnel: Implications for Mating Disruption of These Species.	Journal of Insect Behavior	90
Stelinski, et al.	2004	Field observations quantifying attraction of four tortricid moth species to high-dosage, polyethylene-tube pheromone dispensers in untreated and pheromonetreated orchards.	Entomologia Experimentalis et applicata	100
Stelinski, et al.	2005	Occurrence and duration of long-lasting peripheral adaptation among males of three species of economically important tortricid moths.	Annals of the Entomological Society of America	100

Stelinski, et al.	2005	Oriental disruption of codling moth, <i>Cydia pomonella</i> (L.) (Lep., Tortricidae), by concentrated formulations of microencapsulated pheromone in flight tunnel assays	Journal of Applied Entomology	100
Stelinski, et al.	2006	Antennal and Behavioral Responses of Virgin and Mated Oriental Fruit Moth (Lepidoptera: Tortricidae) Females to Their Sex Pheromon	Annals of the Entomological Society of America	100
Stelinski, et al.	2006	Oriental Behaviors and EAG Responses of Male Codling Moth After Exposure to Synthetic Sex Pheromone from Various Dispensers Oriental Behaviors and EAG Responses of Male Codling Moth After Exposure to Synthetic Sex Pheromone from Various Dispense	Journal of Chemical Ecology	100
Stelinski, et al.	2008	Mating disruption of citrus leafminer mediated by a noncompetitive mechanism at a remarkably low pheromone release rate.	Journal of Chemical Ecology volume	100
Stelinski, et al.	2007	Evaluation of aerosol devices for simultaneous disruption of sex pheromone communication in <i>Cydia pomonella</i> and <i>Grapholita molesta</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Journal of Pest Science	100
Stelinski, et al.	2009	Efficacy and Release Rate of Reservoir Pheromone Dispensers for Simultaneous Mating Disruption of Codling Moth and Oriental Fruit Moth (Lepidoptera: Tortricidae)	Journal of Economic Entomology	100
Trematerra, et al.	2011	Large-scale mating disruption of <i>Ephestia</i> spp. and <i>Plodia interpunctella</i> in Czech Republic, Greece and Italy	Journal of Applied Entomology	100
Trematerra, et al.	2013	Efficacy of the auto-confusion system for mating disruption of <i>Ephestia kuehniella</i> (Zeller) and <i>Plodia interpunctella</i> (Hübner)	Journal of Stored Products Research	100
Trematerra	2020	Combined control of <i>Lasioderma</i>	Journal of	50

P.		<i>serricorne</i> (F.) and <i>Ephestia elutella</i> (Hbn.) in a tobacco processing facility by attracticide method	Applied Entomology	
Wakefield, et al.	2005	Progress towards a lure to attract three stored product weevils, <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky, <i>S. oryzae</i> (L.) and <i>S. granarius</i> (L.) (Coleoptera: Curculionidae)	Journal of Stored Products Research	100
Wang, et al.	2022	Pheromone antagonism in <i>Plutella xylostella</i> (Linnaeus) by sex pheromones of two sympatric noctuid moths	Pest Management Science	100
Yang, et al.	2009	Electrophysiological and Behavioral Responses of Female Beet Armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) to the Conspecific Female Sex Pheromone.	Journal of Insect Behavior	80
Yasuda, et al.	2010	A multi-species pheromone lure: A blend of synthetic sex pheromone components for two mind species, <i>Stenotus rubrovittatus</i> (Matsumura) and <i>Trigonotylus caelestialium</i> (Kirkaldy) (Heteroptera: Miridae)	Applied Entomology And Zoology	80

### 4.3 Categorización Temática y Meta-agregación de los Datos

Dentro de los estudios incluidos en la revisión, se obtuvo una variada diversidad de hallazgos que se sintetizaron en cuatro categorías:



**Figura 2:** Categorización Temática y Meta-Agregación de los Datos.

#### 4.4 Resultados de Fuentes Bibliográficas

**Tabla 2:** Resumen Bibliográfico de las Principales Especies y Técnicas Feromonales Multiespecies.

Título	Año	Especies	Técnica	Mezcla feromonal
Brockhoff, et al.	2013	<i>Lymantria dispar</i> <i>Hyphantria cunea</i> <i>Thaumetopoea pityocampa</i> <i>Rhyacionia buoliana</i>	Trampeo Simultáneo	Se analizó todas las combinaciones de mezclas de estas cuatro feromonas:  (7R,8S)-cis-7,8-epoxy-2-metilocta decano;  (9Z,12Z,15Z)-octadecatrienal; (3Z,6Z)-(9S,10R)-cis-9,10-epoxiheneicosadieno;  (9Z,12Z)-octadecadienal; (13Z)-hexadecen-11-yn-1-ol, (13E)-hexadecen-11-yn-1-ol;  Acetato de (9E)-dodecen-1-ilo, (9E)-dodecen-1-ol
Bohnenblust, et al.	2011	<i>Cydia pomonella</i> <i>Grapholita molesta</i>	Confusión Sexual Simultáneo	<b>Mezcla [1]:</b> E8E10-12OH; 12OH; 14OH; (2E,4Z)-2,4-decadienoato de etilo; <b>Mezcla [2]:</b> E8E10-12OH; 12OH,14OH; Z8-12:Ac; E8-12:Ac; Z8-12:OH; <b>Mezcla [3]:</b> E8E10-12OH; Z8-12:Ac; E8-12:Ac; Z8-12:OH
Deng, et al.	2022	<i>Grapholita molesta</i> <i>Conogethes punctiferalis</i>	Trampeo Simultáneo	Z8-12:Oac; E8-12:Oac; Z8-12:OH; E10-16:Ald; Z10-16:16Ald
Dissanayaka	2020	<i>Tribolium castaneum</i> <i>Rhyzopertha dominica</i>	Trampeo Simultáneo	4,8-DMD,DL-1,DL-2
Eizaguirre, et al.	2007	<i>Sesamia nonagrioides</i> <i>Ostrinia nubilalis</i>	Trampeo Simultáneo	<b>Mezcla [1]:</b> Z11-16:Ac; Z11-16:OH; Z11-16:Ald;12:Ac; Z11-14:Ac; E11-14:Ac <b>Mezcla [2]:</b> Z11-16:Ac; Z11-16:OH; Z11-16:Ald;

				12:Ac; Z11-14:Ac <b>Mezcla [3]:</b> Z11-16:Ac; Z11-16:OH; Z11-16:Ald; 12:Ac; E11-14:Ac
Evenden, et al.	1999	<i>Choristoneura rosaceana</i> <i>Pandemis limitata</i> 17	Trampeo Simultáneo y Confusión Sexual Simultáneo	Z11-14:OAc; E11-14:OAc; Z11-14:Ald; Z11-14:OH; Z9-14: Oac
Evenden y Mcclaughlin	2005	<i>Cydia pomonella</i> <i>Grapholita molesta</i>	Atracticida Simultáneo y Trampeo Simultáneo	E8E10-12OH; Z8-12:Ac; E8-12:Ac; Z8-12:OH
Gemeno, et al.	2006	<i>Sesamia nonagrioides</i> <i>Ostrinia nubilalis</i>	Trampeo Simultáneo	<b>Mezcla [1]:</b> Z11-14:Ac; E11-14:Ac; Z11-16:Ac <b>Mezcla [2]:</b> Z11-14:Ac; E11-14:Ac; Z11-16:OH; <b>Mezcla [3]:</b> Z11-14:Ac; E11-14:Ac; Z11-16:Ald; <b>Mezcla [4]:</b> Z11-14:Ac; E11-14:Ac; 12:Ac
Igarachi, et al.	2022	<i>Plutella xylostella</i> <i>Helicoverpa armigera</i> <i>Spodoptera litura</i> <i>Autographa nigrisigna</i> <i>Trichoplusia ni</i> <i>Mamestra brassicae</i> <i>Spodoptera exigua</i>	Trampeo Simultáneo	Z11-16Ald; Z9E11-14Ac; Z11-16Ac; Z9E12-14A; Z7-12Ac; Z9-14OH; Z7-12OH; Z9-16Al; Z11-16OH
Il'ichev, et al.	2007	<i>Cydia pomonella</i> y <i>Grapholita molesta</i>	Confusión Sexual Simultánea	E8E10-12OH; 12OH; 14OH; Z8-12:Ac; E8-12:Ac; Z8-12:OH
Johansson, et al.	2002	<i>Rhyacionia buoliana</i> <i>Dendrolimus pini</i> <i>Lymantria monacha</i> <i>Panolis flammea</i>	Trampeo Simultáneo	(E)-9-Dodecenilo acetato, (E)-9-Dodecen-1-ol; (Z,E)-5,7- Dodecadial, (Z,E)-5,7-Dodecadien-1-ol; 7,8-Epoxy-2-metiloctadecano; (Z)-9-Tetradecenilo acetato, (Z)-11-Tetradecenilo

		<i>Diprion pini</i> - moscas <i>Neodiprion sertifer</i>		acetato; (2S,3R,7R)-3,7-Dimetil-2-Tridecilo propionato; (2S,3S,7S)-3,7-Dimetil-2-pentadecilo acetato
Jones, et al.	2009	<i>Malacosoma disstria</i> <i>Choristoneura conflictana</i>	Trampeo Simultáneo	Z5,E7-12Ald; Z5,Z7-12Ald; Z7-12Ald; Z11-14Ald
Juárez, et al.	2015	<i>Helicoverpa gelotopoeon</i> <i>Heliothis virescens</i>	Trampeo Simultáneo	Z9-16:Ald, 16:Ald, y 14:Ald
Judd y Gardiner	2004	<i>Cydia pomonella</i> <i>Choristoneura rosaceana</i> <i>Pandemis limitata</i> <i>Archips rosanus</i> <i>Archips argyrospilus</i>	Confusión Sexual Simultáneo	E8E10-12OH; isómeros de E8E10-12OH; 12OH; 14OH; Z11-14: Ac; E11-14: Ac
Kim, et al.	2015	<i>Riptortus pedestris</i> <i>Plautia stali</i>	Trampeo Simultáneo	E2HE2H; E2HZ3H; C14iBu; C18iBu; EEZ-10Me
Kim, et al.	2018	<i>Grapholita molesta</i> <i>Grapholita dimorfa</i>	Confusión Sexual Simultáneo y Trampeo Simultáneo	Z8-12:Ac y E 8-12:Ac
Mitchell, et al.	2015	<i>Anelaphus pumilus</i> <i>Cyrtophorus verrucosus</i> <i>Euderces pini</i> <i>Neoclytus caprea</i> <i>Phymatodes aereus</i> <i>Phymatodes amoenus</i>	Trampeo Simultáneo	3-cetona; 2-metilbutan-1-ol racémico



		<i>Phymatodes varius</i> <i>Neoclytus mucronatus</i> <i>Phymatodes lengi</i> <i>Sarosesthes fulminans</i> <i>Xylotrechus colonus</i>		
Rice, et al.	2020	<i>Cyrtophorus verrucosus</i> <i>Dryobius sexnotatus</i> <i>Elaphidion mucronatum</i> <i>Heterachthes quadrimaculatus</i> <i>Tylonotus bimaculatus</i> <i>Trichoferus campestris</i> <i>Otras especies</i> <i>Cerambycidae</i>	Trampeo Simultáneo	<b>Mezcla [1]:</b> 6-metil-5-hepten-2-ol; 2-metilbutan-1-ol; (E)-2-hidroxi-4-en-3-ona; 2-(undeciloxi)etanol; 3-hidroxi-2-ona; (4R,9Z)-hexadec-9-en-4-olida <b>Mezcla [2]:</b> (E)-6,10-dimetilundeca-5,9-dien-2-ol; (E)-geranilacetona; 2-metilbutan-1-ol; 3-hidroxihexan-2-ona; 3-metiltiopropan-1-ol; 6-metil-3,5-heptadien-2-ona; anti-(2,3)-hexanodiol <b>Mezcla [3]:</b> (E)-6,10-dimetilundeca-5,9-dien-2-il acetato; (E)-geranilacetona; 3-hidroxihexan-2-ona; (2R,4R)-2-hidroxi-4-metil-1-fenilhexan-3-ona; (Z)-8-pentadecen-1-ol; (2E,6Z,9Z)-2,6,9-pentadecatrienal; decan-2-uno; 1-(1H-pirrol-2-il)-1,2-propanodiona <b>Mezcla [4]:</b> (E)-6,10-dimetilundeca-5,9-dien-2-ol; (E)-6,10-dimetilundeca-5,9-dien-2-il acetato; (E)-geranilacetona; (R)-(+)-1-feniletanol; 10-metildodecanol; nonan-2-uno
Stelinski, et al.	2007	<i>Cydia pomonella</i> <i>Grapholita molesta</i>	Confusión Sexual Simultáneo	E8E10-12OH; Z8-12:Ac; E8-12:Ac; Z8-12:OH
Stelinski, et al.	2009	<i>Cydia pomonella</i>	Confusión Sexual	E8E10-

		<i>Grapholita molesta</i>	Simultáneo	12OH;12OH;14OH; Z8-12:Ac; E8-12:Ac; Z8-12:OH
Steffan, et al.	2017	<i>Acrobasis vaccinii</i> <i>Rhopobota naevana</i>	Confusión Sexual Simultánea	E8,Z10-15:Ac, E9-15:Ac + Z11-14:Ac, Z11-14:OH, Z9-12:Ac
Trematerra, et al.	2013	<i>Ephestia kuehniella</i> <i>Plodia interpunctella</i>	Autoconfusión Simultáneo	TDA
Trematerra	2020	<i>Lasioderma serricone</i> <i>Ephestia elutella</i>	Atracticida Simultáneo	4,6-dimetil-7-hidroxinon-3-ona; Acetato de 2,6-dietil-3,5-dimetil-3,4-dihidro-2H-pirano+ (Z,E)-9,12-tetradecadien-1 ol (TDA)+ permetrina
Wakefield, et al.	2005	<i>Sitophilus granarius</i> <i>Sitophilus oryzae</i> <i>Sitophilus zeamais</i>	Trampeo Simultáneo	4S,5R-sitofinona + volátil alimenticio de algarroba
Wang, et al.	2022	<i>Plutella xylostella</i> <i>Spodoptera litura</i> <i>Spodoptera exigua</i>	Trampeo Simultáneo	Z11-16:OAc; Z11-16:Ald; Z11-16:OH; ZE-9,11-14:OAc; ZE-9,12-14:OAc; Z9-14:OH
Yasuda, et al.	2010	<i>Stenotus rubrovittatus</i> <i>Trigonotylus caelestialium</i>	Trampeo Simultáneo	<b>Mezcla [1]:</b> butirato de hexilo; E2-btirato de hexenilo; E2-4-oxo-6Ald <b>Mezcla [2]:</b> hexanoato de hexilo; E2-hexanoato de hexenilo; butirato de octilo <b>Mezcla [3]:</b> butirato de hexilo; E2-btirato de hexenilo; E2-4-oxo-6Ald; hexanoato de hexilo; E2-hexanoato de hexenilo; butirato de octilo

## V. DISCUSIÓN

### 5.1 Estrategias a Base De Feromonas en Control de Plagas

Con los años, se han desarrollado varias estrategias de manejo de plaga en base a feromonas, tanto en el ámbito forestal, agrícola y urbano. Entre aquellos más antiguos y explorados se encuentran la confusión sexual, el trampeo masivo, monitoreo y atraccicida (atraer y matar) (Pherobase, 2022)

La estrategia de detección y seguimiento de poblaciones (monitoreo) es una de las estrategias más utilizadas y exitosas, está consiste en la captura a través de trampas con señuelos de feromonas sintéticas, las cuales proporcionan información precisa sobre una plaga en particular, como por ejemplo, si esta está presente en el lugar de estudio y cuando comienza su período de vuelo (fenología) o actividad, lo que permite el seguimiento de la población, relacionando las capturas con la densidad poblacional y ayudando en la toma de decisiones (Brockerohoff, et al., 2013; Johansson et al., 2002). Estos atrayentes con feromonas pueden además ser utilizados para capturas masivas, con el fin de atraer y eliminar una proporción importante de la población, y así poder mantenerse por debajo del umbral de daño.

Ambas estrategias, de monitoreo y captura, han sido empleados con éxito en el control de plagas en cultivos hortícolas, agrícolas y forestales, así como también en plagas de granos almacenados, principalmente en los Órdenes de los lepidópteros, coleópteros y dípteros (Ver figura 1) (Pherobase, 2022). En el caso de las especies de lepidópteros, es la feromona sexual (sintética) la que se usa como señuelo, en cambio en los coleópteros, se hace uso mayoritariamente de feromonas sexuales y de agregación (ej. gorgojos y escarabajos) (Mitchell et al., 2015; Rice et al., 2020) y en una menor medida se han utilizado atrayentes de plantas hospederas (kairomonas) en combinación con las anteriores con el fin de ayudar a la atracción del señuelo (Baroffio, et al., 2018).

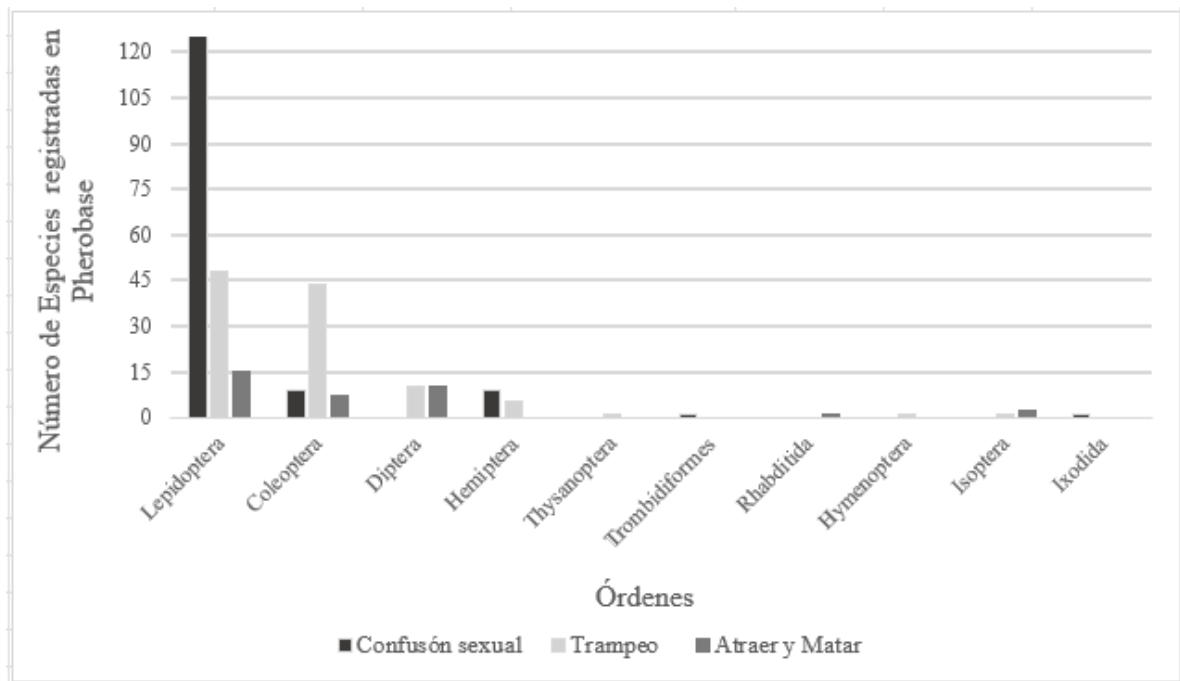
La técnica de atraccicida por otro lado, comparte el mismo objetivo que la técnica del trampeo masivo, el de atraer y eliminar parte de la población. En este caso el objetivo es atraer a uno o ambos sexos de una especie en especifica a través de un señuelo con atrayente feromonal en combinación con un agente tóxico. El contacto directo con la fuente es esencial en este tipo de estrategia, por lo que es fundamental que la feromona utilizada en las formulaciones sea lo más similar a la natural (Curkovic, et al. 2009; Evenden y Mcclaughlin, 2005). E igualmente que el trampeo masivo, aquellas Órdenes mayormente controladas por atraccicidas son los de los lepidópteros, coleópteros y dípteros (Pherobase, 2022).

Siguiendo con los tipos de estrategias feromonales, se encuentra también la técnica de confusión sexual (CS), la cual consiste en disponer en campo cargas altas con feromona sexual, la que altera el comportamiento del individuo macho de las especies objetivos, interrumpiendo la comunicación con las hembras, evitando así el apareamiento (Stelinski, et al., 2005). A diferencia de las otras tecnologías, la mezcla feromonal para inducir una interrupción en CS no requiere de una feromona natural completa, ya que el efecto de confusión/interrupción puede ocurrir con mezclas simplificadas e incluso con el

componente principal (mayoritario en la mezcla natural), inclusive se puede hacer uso, en la mezcla sintética, de compuestos no atractivos (como antagonistas) (Deng et al. 2020; Juárez et al., 2015).

Las especies más estudiadas bajo el concepto de CS son las pertenecientes a los lepidópteros, siguiendo los coleópteros. Entre las especies más conocidas y estudiadas se halla la *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera: Tortricidae), *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), *Cydia molesta* (Busk) (Lepidoptera: Tortricidae), *Pandemis limitata* (Robinson) (Lepidoptera: Tortricidae), *Pandemis pyrusa* Kearfott (Lepidoptera: Tortricidae), *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae), *Cylas puncticollis* (Boheman) (Coleoptera: Apionidae), *Anthonomus grandis* (Boh.) (Coleoptera: Curculionidae), entre otros (Pherobase, 2022).

El registro de especies de la fuente de datos Pherobase informa que se hallan actualmente 148 especies de plagas de insectos que se manejan con confusión sexual, siendo los Órdenes con más especies estudiadas y exploradas el de los lepidópteros (127 especies), coleópteros, (9 especies) y hemípteros (5 especies). La cantidad de especies manejadas con trampeo masivo es de 110 y los Órdenes más explorados son lepidópteros (48 especies), coleópteros, (44 especies) y dípteros (10 especies), y el control por atracción registra 35 especies siendo los Órdenes más abundantes lepidópteros (15 especies), dípteros (10 especies), y coleópteros (7 especies) (Ver **Figura 3**).



**Figura 3:** Número de especies por Orden y técnica de manejo con feromona. Fuente: El-Sayed A.M. 2022. The Pherobase: Database of Pheromones and Semiochemicals. <<https://www.pherobase.com>>

## 5.2 Confusión Sexual Simultánea

Uno de los motivos principales que limitan el uso de la confusión sexual individual contra varias especies en campos, es el alto costo de esta técnica, tanto por el alto valor de los materiales (emisores, feromona) como la mano de obra necesaria para su instalación manual o para su aspersión, lo cual posibilita su implementación sólo en cultivos con alta rentabilidad (Judd y Gardiner, 2004; Stelinski et al. 2009). Para un sistema de CSS el desarrollo de una única formulación que sirva para manejar dos o más especies, precisa de la integración de varias mezclas de componentes feromonales. Los semioquímicos por unidad de masa tienden a ser más caros que los insecticidas (aunque los primeros usualmente se usan en un orden de magnitud menor, g/ha, contra los insecticidas que se usan habitualmente en el rango kg/ha), lo que puede poner restricciones en la cantidad de semioquímicos a utilizar para lograr el manejo de las plagas (Steffan, et al., 2017). Por consiguiente, en sistemas agrícolas con múltiples plagas significativas afectando el cultivo, la CSS es una alternativa beneficiosa si los costos de las distintas gestiones de manejo utilizadas en el campo sustentan y compatibilizan con el costo de la implementación y formulación de esta técnica.

Por otro lado el éxito de aplicación de estas tecnologías en base a feromonas contra plagas, depende de una serie de factores, incluyendo fisiológicos (capacidad sensorial, ritmos circadianos), ecológicos (densidad de población y capacidad migratoria), ambientales (velocidad del viento, temperatura), geográficos (topografía, tamaño y forma de la parcela experimental), químicos (pureza de la feromona) y también de aquellos relativos al despliegue de la técnica en campo (tipo de emisor, tasa de liberación, tipo de trampas, localización de los señuelos o confusores, etc). Sin embargo, en una tecnología multiespecies, no solo se abordan estos conocidos factores, sino que además se presentan numerosos desafíos asociados a los dos o más poblaciones de plagas a controlar, cómo sus mecanismos de confusión, conducta sexual, hábitos y respuesta a la mezcla feromonal.

### 5.2.1 Mecanismos de Confusión.

La confusión sexual en la actualidad se desarrolla, en gran medida, de forma empírica, es decir, sin el conocimiento del mecanismo involucrado en la disrupción de las plagas objetivos. Sin embargo, su comprensión puede ayudar a diseñar una metodología que haga viable la confusión sexual, y la CSS, optimizando el desarrollo de estas tecnologías en su uso práctico. Dependiendo del mecanismo de confusión sexual, se puede escoger el dispositivo, la dosis de feromona necesaria por hectárea (dado que los distintos mecanismos dependen de la concentración de feromona en el aire), densidad de los dispensadores en el campo y su distribución (Stelinski et al., 2004).

Se han estudiado y se conocen varios mecanismos por los cuales ocurre la interrupción del apareamiento: (1) Adaptación y/o Habitación, los cuales ocurren por la exposición constante a elevadas concentraciones de feromonas; en el primer caso la exposición continua a la feromona provoca una reducción en el comportamiento y respuesta electrofisiológica del individuo (ocurre a nivel antenal) y es reversible, en cambio la habitación, es una incapacidad a nivel del sistema nervioso cerebral y requiere una mayor cantidad de tiempo para revertir este proceso (Stelinski, et al. 2005; Stelinski, et al. 2008);

(2) Seguimiento de rastros falsos (competitivo, el cual ocurre por la competencia entre las plumas de olor feromonal sintética y las naturales producidas por las hembras); (3) Camuflaje del señuelo sintético (no competitivo), ocurre por la superposición de las plumas de olor de los múltiples dispensadores con los compuestos feromonales sintéticos, los cuales en conjunto forman una “nube” en el ambiente, en consecuencia, la pluma natural queda enmascarada por la sintética y el macho resulta incapacitado para reconocer y seguir la señal emitida por la hembra. Este mecanismo también llamado no competitivo es independiente de la densidad de la población plaga, no así el mecanismo competitivo que es dependiente de la densidad y su eficiencia disminuye cuando la población aumenta o el número de fuentes (o la respectiva carga de feromona) disminuye (Curkovic y Ferrera, 2010; Stelinski et al., 2008).

Los mecanismos propuestos por los cuales la interrupción del apareamiento podría funcionar no necesitan ser mutuamente excluyentes; varios mecanismos pueden ser importantes y manifestarse para un mismo insecto bajo diferentes condiciones, y muchas veces es un efecto combinado de estos mecanismos el que permite el manejo de una especie (Stelinski, et al. 2005; Stelinski, et al., 2008); por ejemplo, se ha identificado cambios de mecanismo disruptivo dependiendo de la tasa de feromona expuesta, como es el caso la polilla de los carozos (*Cydia (Grapholita) molesta*) la cuál expuesta a dispensadores de baja tasa de liberación evidencia un mecanismo disruptivo competitivo (que es lo más común a través de dispositivos de emisión aplicados a mano), pero también se ha visto que ante dispensadores de alta liberación su mecanismo cambia a uno no competitivo (Reinke et al. 2013).

Por lo pronto, varias investigaciones mencionan aparte que es poco probable que concentraciones promedio de feromona en huertos o campos tratados por formulaciones de CS, puedan desensibilizar a los machos que vuelan a metros de la fuente (como para que causen habituación o adaptación) (Stelinski et al., 2006b). La investigación realizada por Judd et al. (2005) en un túnel de viento, determinó que la polilla de la manzana requiere de una exposición de 35 ug de su feromona /l por 10-35 min para una adaptación sensorial antenal y posterior reducción a la respuesta conductual, sin embargo, se discute que las concentraciones expuestas en laboratorio son mucho mayores de las que realmente se logran a nivel de campo. La concentración promedio de feromona aérea en campo (tratada con dispensadores) son del orden de 1-2 ng/m<sup>3</sup> (Kouch et al. 2002), por tanto, difícilmente la polilla macho, bajo un tratamiento estándar de CS Isomate por ejemplo, se podría ver afectada por un mecanismo de adaptación o habituación (Stelinski et al., 2006b). Judd y colaboradores (2005) sugieren que la adaptación sensorial se podría generar en campo, si el macho se acercara lo suficiente al dispensador y permaneciera allí por varios minutos para recibir una exposición equivalente a la del túnel de viento. Esto, se asume más factible temprano en la temporada cuando los emisores convencionales emiten mayor proporción de la feromona que contienen, generando mayores concentraciones atmosféricas, respecto de lo que ocurre tarde en la temporada.

Así mismo, un estudio de la interrupción sexual de *Lobesia botrana* demostró que para que ocurra habituación del sistema nervioso central en esta especie, se requiere de 4 µg de feromona / l en el aire (Schmitz et al.,1997), sin embargo, al igual que como ocurre con *Cydia pomonella* (Judd et al., 2005) las cantidades de feromonas utilizadas en laboratorio

son mucho mayores a las que se alcanzan en campo (Schmitz et al., 1997, Stelinski et al., 2004), por tanto se respalda el estudio realizado por Schmitz y compañeros (1995), el cual menciona que los mecanismos de interrupción de *L. botrana* son el camuflaje (no competitivo) y el seguimiento de rastro falso (competitivo). Otra especie que tiene como mecanismo de interrupción el seguimiento de las plumas de olor feromonal es *C. molesta* (Stelinski et al., 2004). Un ensayo demostró que la adaptación se producía sólo después de que la polilla se expusiera a 1 hora a 100 mg de feromona en cámaras cilíndricas de teflón de 1 litro (ensayo de electroantenograma). Posiblemente visitas repetidas o el acercamiento de la polilla con una permanencia de más de 30s próxima al dispensador, podría inducir una adaptación sensorial (Stelinski et al., 2005).

Si la interrupción efectiva del apareamiento ocurre a concentraciones de feromonas que no alcanzan a provocar una desensibilización, ya fuese por adaptación o habituación como se ha visto en varias especies de polillas agrícolas, entonces cabe replantearse la importancia de estos mecanismos dentro de la interrupción sexual. De este modo entonces, si es la atracción competitiva o de camuflaje, efectivamente lo que contribuye de manera importante a la CS, entonces su eficacia debería depender en gran medida de la densidad poblacional de las plagas y de la densidad de fuentes puntuales sintéticas que se coloquen en el área a tratar, mientras las concentraciones atmosféricas superen un umbral mínimo de respuesta.

En definitiva, conocer el mecanismo de interrupción de las especies puede resultar crucial para adaptar la CSS, ya que, si una de las especies tuviera un mecanismo disruptivo como habituación o adaptación y la otra un mecanismo competitivo, habría que ajustar la dosis, tasa de liberación de la feromona artificial y la cantidad de dispositivos aplicado en campo para que se logre una interrupción eficaz para ambas poblaciones. Aun así, parece ser el mecanismo competitivo el que opera en la mayoría de las especies, por tanto, el número de fuentes/ha y la carga/emisor resultarán determinantes.

### **5.2.2 Dispensadores y Tasa de liberación.**

En el mundo de la CS, existen diversos tipos de dispensadores, los cuales tienen distintas características, y formas de implementarse en el campo. Algunos de los emisores existentes son:

Dispensadores pasivos o aplicados a mano. Existen diferentes tipos de depósitos (contenedores) como aquellos que tienen una membrana permeable para regular la liberación de feromonas (ejemplo: Check Mate CM XL 1000); dispensadores de plásticos bicapsulados (ejemplo: Rak CP Plus). También, dispensadores de polímeros en forma de espirales, y “cuerdas” de amarre los que consisten en dos tubos de polietileno, en el cual uno contiene la feromona y el otro un alambre que permite su colocación en la planta (ejemplo: Isomete C Plus) (Bohnenblust et al., 2011; Il'ichev et al., 2007; Pacific Biocontrol, 2022; Suterra, 2022)

Ceras de parafina y emulsiones acuosas de parafinas. Se usan como matrices viscosas portadoras de liberación de feromona. Estas se aplican directamente al árbol utilizando dispensadores manuales o potencialmente con pulverizadores modificados. Se erosiona lentamente en la corteza y se biodegrada en el suelo (Atterholt et al., 1999).

Microencapsuladas. Las formulaciones microencapsuladas (MEC) son pequeñas gotas de feromona dentro de una cápsula de polímero, que permiten su liberación controlada al ambiente. Se pueden aplicar con equipos de aspersión convencionales, directamente al cultivo, y usualmente requieren asperjarse varias veces a lo largo de la temporada debido a que tienen una vida útil relativamente corta. Su longevidad efectiva generalmente varía de días a semanas, dependiendo de varios factores como las condiciones climáticas, el tamaño y las propiedades de la cápsula, y la química de los componentes de feromona (Knight y Larsen, 2004; Stelinski et al. 2005b).

Fibras huecas. Consisten en un tubo de plástico corto e impermeable que está sellado en un extremo y en su interior contiene la feromona, se mezclan con coadyuvantes (adherente) para que se puedan depositar y permanecer en el follaje de la copa de los árboles luego de la aspersión (Knight, 2003; Moffit y Westigard, 1984;)

Dispensadores de alta emisión. Los dispensadores de alta emisión (también denominados *mesodispensers*) se desarrollaron para emitir mayores cantidades de feromona y usar menos dispensadores por hectárea de modo de reducir los costos de insumos y de mano de obra (Stelinski et al. 2007; Stelinski et al., 2018). Consiste en una bombona que contiene la feromona y gas comprimido de la misma manera que aplica un aerosol, usando tan pocos dispensadores como 2.5/ha, y se puede programar para liberar feromona en intervalos de tiempo cuando la plaga objetivo está activa (Pacific Biocontrol, 2022).

**Factores que afectan la eficiencia de los emisores de CSS.** Para los casos de estrategias de CSS (multiespecies), en el mercado existen varios dispositivos registrados (ver tabla 3), sin embargo, no todos resultan muy eficientes, teniendo que complementar su uso con aplicaciones de insecticidas (Stelinski et al., 2009). Uno de los factores que afecta la eficiencia del sistema, es la diferencia que puede ocurrir en la tasa de liberación de los compuestos feromonales de cada especie. Un ejemplo de esto es el de ISOMATE CM/OFM TT, el cual es un dispositivo pasivo (de tubo polietileno) que contiene las feromonas de *Cydia pomonella* y *Cydia molesta*, en donde se detectó que los componentes feromonales de esta última se agotaban más rápidamente en la temporada que los de *C. pomonella* (o Carpopapsa) (Il'ichev et al., 2007; Stelinski et al., 2009).

**Tabla 3:** Emisores de Confusión sexual simultánea registradas en el mercado mundial

Dispositivos	Especies controladas
<sup>1</sup> ANILLO ISOMATE CM	<i>Cydia pomonella</i> y <i>Cydia caryana</i>
<sup>1</sup> ANILLO ISOMATE FBW	<i>Cydia pomonella</i> y <i>Cydia caryana</i>
<sup>1</sup> ISOMATE CM/LR TT	<i>Cydia pomonella</i> , <i>Choristoneura rosaceana</i> , <i>Pandemis pyrusana</i> , <i>Archips argyospilus</i> , <i>Pandemis limitata</i> , <i>Archips rosanus</i>



<sup>2</sup> ISOMATE CM/OFM MIST PLUS	<i>Cydia pomonella</i> y <i>Cydia molesta</i> .
<sup>2</sup> ISOMATE CM/OFM MIST PLUS 142G	<i>Cydia pomonella</i> y <i>Cydia molesta</i> .
<sup>1</sup> ISOMATE CM/OFM TT	<i>Cydia pomonella</i> , <i>Cydia molesta</i> , <i>Cryptopplebia ombrodelta</i> , <i>Cryptophlebia illepida</i> , <i>Grapholitta prunivor</i>
<sup>1</sup> ISOMATE PTB DOBLE	<i>Synanthedon pictipes</i> , <i>Synanthedon exiltiosa</i>
<sup>1</sup> ISOMATO C PLUS	<i>Cydia pomonella</i> y <i>Cydia caryana</i>
<sup>1</sup> ISOMATO C TT	<i>Cydia pomonella</i> y <i>Cydia caryana</i>
<sup>1</sup> ISOMATO M ROSSO	<i>Cydia molesta</i> , <i>Cryptophlebia ombrodelta</i> , <i>ryptophlebia illepida</i>
<sup>1</sup> ISOMATO OBLR/PLR PLUS	<i>Choristoneura rosacena</i> y <i>Pandemis Pyrusana</i>
<sup>1</sup> ISOMATO OFM TT	<i>Cydia molesta</i> , <i>Cryptopplebia ombrodelta</i> , <i>Cryptophlebia illepida</i>
<sup>1</sup> Checkmate® Puffer® Fruit Multi	<i>Cydia pomonella</i> y <i>Cydia molesta</i>

<sup>1</sup>Emisores de tubos polietileno;

<sup>2</sup>Dispositivos aerosol,

Fuentes:

- Pacific Biocontrol.[En línea]. Washington, USA. Recuperado en: <<https://pacificbiocontrol.com/>>. Consultado el: 10 abril del 2022.

- Sutterra. [En línea]. USA. Recuperado en: <<https://www.sutterra.com/es/>>. Consultado el: 13 agosto del 2022.

Otro factor que afecta la eficiencia de esta tecnología multiespecies, es que cada especie puede responder de manera diferente a la densidad de los dispensadores de confusión (Bohnenblust et al., 2010; Kim et al. 2018). Por ejemplo, se ha registrado que poblaciones altas de *Cydia pomonella* en campo, requieren de altas cantidades de fuentes puntuales de feromonas para una correcta interrupción del apareamiento (Bohnenblust et al., 2010), debido a que el mecanismo de confusión es el competitivo (seguimiento de pluma falsa). Se hallan varios estudios que demuestran que la mejor opción de CS en carpocapsa es la utilización de dispensadores pasivos puestos en altas densidades en el campo. Dispositivos aerosol como los menciona Stilinski et al (2007) no son una buena opción en esta plaga, debido a la baja densidad de emisores (2,5 dispensadores /ha), aun aumentando la tasa de liberación.

Por otro lado, el mecanismo de confusión (competitivo o no competitivo) de las especies plagas, puede definir el tipo de formulación y dispositivos a desarrollar/aplicar. También puede ocurrir, al contrario, donde el tipo de formulación y dispositivo determinan el mecanismo de confusión que se presente. Por ejemplo, el estudio realizado por Kim et al. (2018) sugiere que las formulaciones de cera y tubos de polietileno que contienen las feromonas contra *Cydia molesta* y *Grapholita dimorpha* (Komai) (Lepidoptera: Tortricidae) tienen diferente mecanismo de interrupción cada uno. La primera formulación (de cera), estaría liberando los componentes sexuales a una tasa de 70 µg/día/g de gota de cera, similar a una pluma de llamada (“huella” o “camino invisible”) producida por una hembra, lo que supone que el mecanismo de interrupción asociado a este tipo de formulación es el seguimiento de rastro falso (o denominado competitivo); al contrario, la segunda formulación de tubos de polietileno, tiene una liberación de su feromona de una magnitud de 100.000 veces más que el de cera, en el orden de los mg (ej, 100-250 mg de feromona por dispensador), por lo que el mecanismo para esta formulación sería el de camuflaje (no competitivo). Más aún, Reinke y colaboradores (2014) aseguran que aquellos dispensadores que liberan bajos niveles de feromonas estarían realizando en tal caso una alteración del apareamiento por el mecanismo de seguimientos falsos, mientras que aquellos dispensadores de alta tasa de liberación lo estarían realizando bajo el mecanismo disruptivo de camuflaje (no competitivo).

### **5.2.3 Interacciones e Interferencia entre Componentes de Feromonas.**

La discriminación entre señales conespecíficas y heteroespecíficas es un elemento clave en la evolución de la comunicación mediada por feromonas en los insectos (Coracini et al., 2003). Estos responden a una mezcla específica de compuestos químicos, y una pequeña variación ya sea en la estructura química de los compuestos o la relación (proporción) de estos, puede afectar la percepción de la señal específica, de manera que ello se traduzca, o no, en el desarrollo de una respuesta a la fuente (Coracini et al., 2003; Juárez et al., 2015; Wang et al., 2021). La mezcla de feromonas emitidas por los organismos en la naturaleza es multicomponente y la composición y las proporciones relativas de dichos compuestos resultan ser altamente específicas, lo que da como resultado una enorme diversidad de composiciones feromonales, incluso entre especies estrechamente relacionadas (Juárez et al., 2015; Wang et al., 2021), aunque con una tendencia a usar los mismos compuestos químicos o similares.

Se conoce como componente feromonal primario aquel que es el porcentualmente mayoritario en la mezcla natural y que es indispensable para el reconocimiento específico, usualmente el que actúa como mensaje a mayor distancia desde la hembra emisora. Por ende, su ausencia en la mezcla (por ejemplo, cuando se prepara artificialmente un atrayente ya fuese para monitoreo, captura masiva, CS o atracticida) puede causar una pérdida significativa en la respuesta del individuo receptor. Los otros compuestos (presentes en proporciones menores) que componen una mezcla feromonal natural juegan muchas veces un papel menor, y se denominan componentes minoritarios, secundarios o menores, y pueden ser omitidos en algunos usos tecnológicos, sin pérdida significativa en la respuesta del insecto a una formulación (por ejemplo la CS para *Cydia pomonella*, hace uso solamente del componente principal denominado “codlemona”). Sin embargo, estos compuestos menores generalmente aseguran la especificidad de la respuesta en la mayoría

de las especies, y en técnicas como atracticidas y trapeo, resulta importante incluirlos en la mezcla artificial. Usualmente son isómeros geométricos, o análogos del compuesto principal, los cuales comparten rutas biosintéticas (Wang, et al., 2022). En los casos de las técnicas atracticidas y de captura masiva, es más eficiente que la mezcla contenga todos los componentes, similar a una pluma natural femenina, esto para una mejor respuesta, ya que estas tácticas para que sean exitosas requieren que los insectos plagas contacten directamente la fuente feromonal (Evenden y Mcclaughlin, 2005).

Aunque varios componentes de feromonas se comparten en los organismos simpátricos y sincrónicos, la atracción cruzada rara vez ocurre en condiciones naturales, debido a que en su mezcla feromonal poseen compuestos minoritarios que pueden sinergizar, pero también inhibir (antagonistas) la respuesta conductual al componente de feromona principal, este es un medio evolutivo que evita posibles errores de apareamiento interespecíficos y mantiene el aislamiento reproductivo (Evenden et al. 1990, Igarashi et al. 2022). Los antagonistas de feromonas desempeñan por lo general un papel en especies estrechamente relacionadas (Juárez et al., 2015), que tienen componentes comunes de feromonas sexuales principales. Por ejemplo, *Choristoneura rosaceana* (Harris) y *Pandemis limitata* (Robinson) (Lepidoptera: Tortricidae), dos especies simpátricas y sincrónicas en huertos de manzanos en el Noroeste de EE.UU, tienen como componentes principal: Z11-14:OAc (en casi la misma proporción en ambas especies), y para que estas puedan diferenciarse, *P. limitata* tiene además en su feromona natural un compuesto minoritario, Z9-14: Oac, el cual es un antagonista ya que inhibe la respuesta de los machos de *C. rosaceana*, evitando así un eventual intento de apareamiento que resultaría no solo ineficaz, sino que también peligroso (Evenden et al., 1999, Curkovic y Brunner, 2007).

Como se mencionó, es habitual que estos compuestos antagónicos se presenten en especies que son estrechamente relacionadas y que comparten compuestos principales de feromonas o en aquellas cuyas feromonas se encuentran cercanamente relacionadas (como isómeros geométricos). Sin embargo, también pueden ocurrir y actuar entre especies que no se encuentran estrechamente relacionadas, pertenecientes a distintas familias, y que no comparten componentes de feromonas entre ellos (Deng et al., 2022; Igarashi et al. 2022; Johansson et al. 2002; Juárez et al., 2015). Este fenómeno se explicaría debido a la hipótesis de que la inhibición mutua de dos especies simpátricas (cuyos principales componentes de feromonas son dos moléculas diferentes, A y B, respectivamente), ocurriría debido a la evasión de la orientación (inhibición de la respuesta de los machos) por una atracción cruzada con una tercera especie coexistente (que contiene A+B como componentes principales) (Eizaguirre et al., 2007).

Esta situación de que un compuesto feromonal antagonice la respuesta de otras especies cuando se incorpora a la mezcla de feromona artificial (en la naturaleza cuando este se superpone con la feromona de otra especie simpátrica), puede ser provechoso para una CSS, ya que estaría ayudando a la disrupción/inhabilitación del apareamiento de la especie macho receptiva del componente antagónico. Así mismo, se presume que el mecanismo de interrupción del apareamiento en estos casos sería el mecanismo de camuflaje (no competitivo) o Habitación/Adaptación (Evenden et al., 1999).

Otro caso de antagonismo de especies simpátricas lejanamente relacionadas ocurre entre *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae), *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) y *Spodoptera exigua* (Fabricio) (Lepidoptera: Noctuidae), cuyas feromonas naturales no comparten ningún componente. Sin embargo en un estudio donde se combinó sus feromonas se observó antagonismo unidireccional por los componentes ZE-9,11-14:Ac y ZE-9,12-14:Ac (componentes de *S. litura* y *S. exigua*, respectivamente) en individuos macho de *P. xylostella*. En este ensayo se pudo advertir que estos dos compuestos, que no tienen ninguna relación con *P. xylostella*, provocaron en esta última una respuesta antenal (en los ensayos de EAG) que desencadenó un comportamiento tal que, los machos de *P. xylostella* evitaron los señuelos en trampas con la mezcla artificial de las tres especies, reduciéndose sus capturas en campo (experimentos de trampeo) (Wang et al., 2022). Los autores de este ensayo sugieren dos hipótesis sobre la respuesta de *P. xylostella* a los compuestos interespecíficos de ambos noctuidos. La primera es que los receptores antenales masculinos de esta especie responden a los componentes heteroespecíficos de feromona ya que están sintonizados a una amplia variedad de componentes de feromona de polillas. Esto debido a la similitud estructural entre los compuestos feromonales, los cuales comparten rutas biosintéticas. En efecto, en el ensayo se menciona que el receptor olfativo PxylOR4 de *P. xylostella*, es compatible con varios componentes feromonales, entre ellos ZE-9,12-14:OAc y ZE-9,11-14:OAc (componentes sexuales de las Spodopteras), el cual es estructuralmente similar a Z9-14:OAc, que es un compuesto antagonista de *P. xylostella*, lo que explicaría entonces la inhibición unidireccional por parte de esta especie a la mezcla artificial. La segunda hipótesis menciona que los receptores podrían cumplir un rol importante en el hábitat nativo de *P. xylostella*, es decir, que son compuestos importantes en su ambiente biótico y abiótico, o ser reliquias de la divergencia evolutiva de un ancestro parecido a un noctuido; por ese motivo la especie manifiesta una respuesta de evasión a la mezcla feromonal que contiene el antagonista (Wang et al., 2022).

También hay fenómenos de sinergia de feromona, es decir una mayor atracción o respuesta a cierta mezcla feromonal de una especie debido a la presencia de un compuesto interespecífico. Un ejemplo es la feromona de *Conogethes Puntiferalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) el cual sinergizó la atracción de *C. molesta* en la mezcla de sus feromonas intraespecíficas (Deng et al., 2020), también se ha observado en las especies *C. pomonella* y *C. molesta*, en donde la feromona de la primera denominada codlemona sinergiza la atracción a la feromona de *C. molesta* en las formulaciones de atraccidas desarrolladas para ambas especies (Evenden y Mcclaughlin, 2005).

#### **5.2.4 Fenología y Hábitos de Desplazamiento.**

La duración del ciclo de vida, el número de generaciones por temporada, la duración del periodo de vuelo, tasa de crecimiento poblacional y las características propias de vida de las especies son algunos de los aspectos que definen la eficiencia de las técnicas de manejo y control en base a feromonas. Por ello, al tratar de implementar un sistema de multiespecies, la fenología de las distintas plagas puede ser una de las mayores dificultades, ya que determina el momento de aplicación y la duración requerida para que esta combinación de componentes cumpla su función en el manejo. Por ejemplo *C. molesta*, la polilla oriental de la fruta, y *C. punctiferalis* son plagas con hábitats, ocurrencias y ciclos de brotes superpuestos. Estas dos especies pertenecen a familias diferentes y tienen componentes de

feromonas sexuales completamente distintos lo que los hace potenciales para un manejo multiespecie (Deng et al., 2022). Otro ejemplo similar es el caso de *Malacosoma disstria* (Hubner) (Lepidoptera: Lasiocampidae) y *Choristoneura conflictana* (Caminante) (Lepidoptera: Tortricidae), plagas forestales simpátricas lejanamente relacionadas, de *Populus tremuloides* Michenau (Salicaceae). Ambas especies se encuentran ampliamente distribuidas por América del Norte y presentan cambios cíclicos en la densidad de sus poblaciones. Los brotes de población de *C. conflictana* pueden durar de 2 a 3 años y los de *M. disstria* hasta 5 años, además de que estos brotes ocurren simultáneamente, son especies monovoltinas con periodos de vuelo superpuestos lo que de igual modo facilita el desarrollo de tácticas y un enfoque combinado, ya sea para el seguimiento de la población o algún mecanismo de control como CS o trampeo masivo (Jones et al., 2009).

En manejos de CSS con especies en donde una de ellas comienza su actividad de vuelo antes, supone un gasto de los componentes feromonales de aquellos insectos que inician el vuelo más tarde, debido a que el dispensador estaría liberando sus componentes durante todo ese período hasta que la especie más tardía inicie sus vuelos. Lo mismo podría suceder si una especie, del par o grupo objetivo, termina su actividad adulta con mucha anticipación. Por ello resulta funcional para una CSS que las fenologías de las plagas coincidan (traslapadas) lo más posible. Alternativamente se pueden utilizar dispositivos que tengan una emisión diferencial, algo que se ha evaluado en el caso de Puffers, los cuales pueden emitir las respectivas feromonas solo por los períodos de actividad, épocas u horarios, de adultos (Il'ichev et al., 2007).

Otro aspecto relevante a considerar son los hábitos de vida de las especies que podrían dificultar el sistema ya fuese de CS, trampeo o atraticida. Por ejemplo, las especies de coleópteros *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) y *Rhyzopertha dominica* (Fabricio) (Coleoptera: Bostrichidae), coexisten en instalaciones de postcosecha de alimentos (especialmente granos, pastas) no obstante ambos tienen la característica de tener hábitos distintos; *R. dominica* son buenos voladores y débiles caminantes y *T. castaneum* lo opuesto, lo que determinó que en este ensayo la altura óptima de las trampas para realizar un eficiente monitoreo simultáneo fuera de 10cm, esto entonces por la diferencia de hábito de vuelo de ambas especies (Dissanayaka et al., 2020).

Por consiguiente el conocimiento de la fenología de las especies objetivos, su sincronía, comportamiento y hábito, puede ayudar a diseñar una metodología que hiciera viable la confusión sexual, el trampeo masivo o atraticidas simultáneos; como lo es definir el momento adecuado para las instalaciones de los confusores o la programación diferenciada en horario en sistema puffers (en CS), o el momento adecuado para las trampas (en los casos de trampeo masivo) y la duración requerida para que esta combinación de componentes abarque toda la temporada y cumpla su función.

### **7.2.5 Conducta Sexual**

El comportamiento sexual se entiende mejor en el ámbito de la selección sexual, los machos compiten entre ellos por aparearse con las hembras, las que seleccionan a la pareja, y conduce a un mayor éxito (*fitness*) en la descendencia. La actividad sexual está sujeta a ritmos circadianos y se ha demostrado que tanto la síntesis de feromonas, la respuesta del macho y el apareamiento están sincronizados ocurriendo en momentos específicos

(Reherman, 2016). En el caso de las especies de lepidópteros, antes de la cópula se realiza una secuencia de comportamiento de cortejo de corto alcance, el cual tiene como fin identificar y evaluar al potencial compañero y así asegurar un apareamiento conespecífico exitoso (Curkovic et al., 2006). La comprensión tanto de los mecanismos fisiológicos como del comportamiento sexual de los individuos (que subyacen a la CS) es esencial para el desarrollo y optimización de las formulaciones feromonales y los tipos de dispositivos de liberación (Coracini et al., 2003). Es por ello que, por ejemplo, conocer cuando ocurre la mayor actividad sexual de las especies, puede ayudar a optimizar el momento de aplicación y la formulación de la CS o CSS, identificando intervalos de tiempo cuando se puede concentrar (programar) la liberación de feromona sintética. El desarrollo de Puffers con programación de las horas del día en que se emite la feromona desde el artefacto (programable), aprovecha este conocimiento para emitir feromona en los períodos críticos, aumentando su eficiencia (Stelinski et al., 2007).

La conducta sexual de estas especies de polillas se puede resumir en 4 fases: “Llamado”, el cual consiste en la emisión de feromona por parte de un sexo (usualmente la hembra) una vez que el individuo alcanza la madurez sexual. Su liberación es un proceso complejo en el cual influyen factores endógenos y exógenos: la edad del individuo virgen, el fotoperíodo, la temperatura, la velocidad del aire y la intensidad de la luz (Reherman, 2016). En respuesta al llamado, los machos una vez que perciben las señales, se activan y realizan una serie de maniobras que favorecen la “Búsqueda y Orientación” hacia la fuente (vuelo zigzagueante y/o pendular tras pistas químicas) (Altesor et al., 2010; Baker y Haynes, 1996). Luego viene el “Cortejo” (tercera fase), el cual se entiende como la serie de posturas y emisión de señales de corto alcance entre ambos sexos, previo al acoplamiento, con el fin de garantizar un apareamiento exitoso. En algunos casos, como el de *G. molesta*, los individuos machos (que responden a la feromona sexual de largo alcance emitida por la hembra) liberan señales químicas como feromonas afrodisíacas (o de cortejo) con el fin de estimular la aceptación femenina (Baker y Cardé, 1979). Los etogramas (diagramas que muestran las frecuencias en que ocurren los pasos secuenciales que constituyen una conducta) de cortejo de *Choristoneura rosaceana* y *Pandemis pyrusana* han demostrado que los machos de ambas especies realizan seis pasos inmediatamente antes de la cópula: 1) agitación de las alas; 2) primer contacto; 3) macho paralelo a hembra (principalmente en *C. rosaceana*), o contacto cabeza con cabeza (solo *P. pyrusana*); 4) abdomen curvado; 5) contacto de los genitales; y 6) acoplamiento. En esta etapa la selección sexual opera claramente, de manera que, en un sistema de competencia de machos por una hembra, ellas seleccionan al compañero sexual que consideran con los mejores caracteres (Curkovic et al., 2006). Por último, la fase final de una secuencia sexual exitosa es la de la “Cópula”, es decir el acople de las genitales (Altesor et al., 2010). La duración y frecuencia de la cópula es variable entre los insectos. En muchos de ellos, se efectúa una sola vez (monogamia), incluso seguido de una conducta de “guardia” por parte del macho para evitar posteriores cópulas con otros machos, mientras que en otros se repite varias veces (poligamia) (Knight, 2007).

La estrategia de la hembra como emisora de la feromona (Llamado) que luego percibe el macho (receptor), implica que la hembra es una fuente puntual estacionaria, lo que permite inferir que son los machos los únicos que requieren detectar y responder a la señal de olor femenina. Sin embargo, varios estudios demuestran que la polilla hembra (emisora)

también es capaz de detectar y responder a su propia feromona sexual femenina, a este suceso se le ha denominado “autodetección”, y desencadena distintos efectos conductuales en ellas (Lim y Greenfield. 2007; Reheman, 2016; Stelinski et al., 2006; Yang et al., 2009).

En gran medida los estudios y desarrollos enfocados en la CS, se han centrado en la evaluación de los efectos conductuales de las feromonas sobre los machos, mientras que el efecto sobre las respuestas antenales y conductuales de las hembras expuestas a CS, se ha cuestionado muy poco y se desconoce el papel del comportamiento femenino en la eficacia de la interrupción del apareamiento y otras técnicas de control a través de feromonas. En la naturaleza se ha observado repetidas veces competencias intraespecíficas de feromonas, provocadas por la selección natural a través del comportamiento (la cual aumenta el potencial reproductivo de un individuo). Así es el caso de las polillas hembras capaces de modificar su comportamiento (adaptación) para superar la competencia conespecífica por una feromona. Por consiguiente, las investigaciones más recientes buscan comprender como puede afectar dicho comportamiento femenino en el éxito del apareamiento. Y cómo influencia a la CS, ya que se ha propuesto que la selección de comportamiento femenino puede ser un posible mecanismo por el cual podría evolucionar a una resistencia a la interrupción de apareamiento (Pearson et al., 2004; Stelinski et al., 2006).

Aunque el fenómeno de autodetección no ha sido extensamente estudiado se ha observado que, en varias especies, las hembras responden a las feromonas conespecíficas con cambios conductuales para maximizar la capacidad reproductiva, como, por ejemplo, respecto de los momentos de emisión de feromona, la oviposición y el apareamiento propiamente tal. Se estima que la autodetección funciona en la naturaleza provocando un aumento en la frecuencia de la llamada femenina bajo condiciones de alta densidad poblacional, y así favorecer la probabilidad de atraer a los machos. Igualmente se cree que puede inducir la dispersión de las hembras (en condiciones de alta densidad poblacional), de modo de incrementar la distancia entre ellas para reducir la competencia, con una mayor probabilidad de apareamiento (Lim y Greenfield. 2007; Palaniswamy y Seabrook, 1985; Saad y Scott, 1981; Stelinski et al., 2006; Yang et al., 2009). Dicho de otra manera, realmente no existe un comportamiento único, sino que las especies pueden presentar diversos comportamientos, pero todos con el mismo fin el de maximizar la capacidad reproductiva. La autodetección es un comportamiento descrito en pocas especies de polillas hasta la fecha. Aquellas especies en las que las hembras son incapaces de detectar antenalmente su propia feromona sexual (acontecimiento más frecuente) sufren de “anosmia”, fenómeno opuesto a la autodetección (Stelinski et al., 2006). De este modo, la CS en especies con hembras capaces de la autodetección puede explicar la ineficiencia presenciada en ciertos campos.

Algunas de las evidencias de alteración del comportamiento femenino se describen para *C. molesta* y *Choristoneura fumiferana* (Clemens) (Lepidoptera: Tortricidae), en donde se demostró un adelanto de 2 horas en el inicio de llamada femenina en presencia de feromonas conespecíficas (Palaniswamy y Seabrook, 1985; Stelinski et al., 2006). Similarmente, en *Utetheisa ornatrix* (Linnaeus) (Lepidoptera: Erebidae) se observó que las hembras iniciaban su llamado antes y por períodos más prolongados de tiempo (Lim y Greenfield. 2007), y en hembras de *Lobesia botrana* se determinó que éstas llamaban con

una mayor tasa de feromona (Harari et al., 2011). Por otra parte, también se ha descrito en algunas especies un retraso en el inicio de la llamada, como por ejemplo en *Spodoptera exigua* (Yang et al., 2009). Otro tipo de comportamiento observado es el de las hembras de *Utetheisa ornatrix* (Lim y Greenfield, 2008), las cuales se orientaron en busca de otras polillas hembras que llaman, resultando en la agregación de estas con el fin de aumentar el éxito reproductivo. También se ha visto comportamientos contrarios al anterior en donde las polillas hembras se alejan de otras conespecíficas para evitar la competencia entre ellas, como por ejemplo en *Heliothis armigera* (Hübner) y *Heliothis zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) (Saad y Scott, 1981).

De la misma manera que la autodetección puede ser un mecanismo que implique la ineficacia de la CS, también se ha visto que puede favorecer a la misma. Un estudio de Kuhns et al. (2012) demostró que la exposición previa de feromona a hembras de *G. molesta* y *P. pyrusana* redujo la proporción de hembras que copularon (pero no la cantidad de hembras que llamaban), por lo que se sugiere que, al menos en estas especies, bajo el manejo de CS, esta exposición a la feromona femenina puede afectar simultáneamente tanto a machos (por la CS propiamente tal) como a las hembras (debido la autodetección de su feromona) y contribuir aún más al éxito de la interrupción del apareamiento basada en feromonas. Una posible explicación adaptativa a la reducción de la cópula sugerida por los autores es que estas dos especies percibieron los altos niveles de feromona sexual como un indicador de alta competencia, la cual no es adecuada al éxito reproductivo. Pero también se menciona que pudiera ser que la preexposición a la feromona sexual, afecta a *G. molesta* (particularmente) en el sentido de que las hembras posiblemente se vean incapaces de percibir adecuadamente la feromona afrodisíaca de su congénere macho (los machos de *G. molesta* emiten feromonas afrodisíacas para aumentar la aceptación femenina, por lo que se caracteriza como un ritual de apareamiento muy evolucionado), sin embargo la mayoría de las especies poseen comportamientos de apareamiento relativamente simples sin evidencia de un afrodisíaco masculino.

### 5.3 Otras Tecnologías Multiespecies en Base a Feromonas

#### 5.3.1 Monitoreo y Trampeo Multi Especies

El uso de sistemas de atracción simultánea o multiespecies, con componentes feromonales de distintas especies en una fuente (por ejemplo, una trampa) resulta útil para monitorear dos o más plagas sincrónicas y simpátricas en una planta huésped común o para realizar capturas masivas. Así lo han demostrado varios estudios como las trampas con feromonas de dos plagas Hemipteras simpátricas en caqui, *Riptortus pedestris* (Fabricius) (Hemiptera: Alydidae) y *Plautia stali* (Scott) (Hemiptera: Pentatomidae) (Kim et al., 2015), o el trampeo simultáneo de dos especies de Coleópteros plaga de alimentos almacenados como *Tribolium castaneum* y *Rhyzopertha dominica* (Dissanayaka et al., 2020).

El monitoreo a través de capturas de múltiples especies puede permitir la detección temprana de plagas y apoyar en la toma de decisiones en los programas de manejo (Brockehof et al., 2013), reduciendo el número de trampas en el campo, lo que implica un menor costo en insumos y en mano de obra; menor tiempo de instalación de trampas y posiblemente en la verificación (servicio) de las capturas (Dissanayaka et al., 2020). Sin



embargo, existen varios factores a considerar con esta tecnología multiespecies, entre ellos el diseño y posición de las trampas, la duración y las tasas de liberación de las feromonas (Jones et al., 2009), y así mismo si las especies de plagas capturadas tuvieran similitudes morfológicas, se requiere de personal experto para identificarlas, sino el sistema de monitoreo multiespecie no ofrecería las ventajas antes mencionadas (Johansson, et al., 2002).

Desde hace tiempo varios grupos de plagas simpátricas y sincrónicas se han monitoreado con capturas simultáneas de manera exitosa, particularmente en el ámbito agrícola, especies de coleópteros, lepidópteros, hemípteros y más (Deng, et al., 2022; Dissanayaka, et al. 2020; Igarachi, et al., 2022; Kim, et al., 2015; Yesuda, et al., 2010). El trampeo masivo en los ámbitos forestales y urbanos igualmente se ha explorado, y con mucho éxito en algunas especies como *Lymantria dispar* (Linnaeus) (Lepidoptera: Erebidae), *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Erebidae), *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae), *Rhyacionia buoliana* (Schiffermüller) (Lepidoptera: Tortricidae) (Brockehof et al., 2013).

De la misma manera, se han informado fracasos en estos sistemas de monitoreo múltiple en la misma trampa, debido a la interferencia en la respuesta antenal frente a la mezcla feromonal. Por ejemplo, el compuesto feromonal (2S,3R,7R)-3,7-dimetil-2-tridecilo acetato o propionato usado por *Diprion pini* (Linnaeus) (Hymenoptera: Diprionidae), provoca un fuerte efecto inhibitorio en *Neodiprion sertifer* (Geoffroy) (Hymenoptera: Diprionidae), ambas especies forestales, observándose en ensayos de campo la reducción de capturas de esta última especie en las trampas (Johansson, et al., 2002).

Es importante mencionar que el atractivo de una fuente atrayente (señuelo) en una trampa de feromonas se basa principalmente en la optimización de la dosis, la proporción de cada componente de feromona y su longevidad. En las últimas décadas se ha considerado progresivamente la adición de aleloquímicos para mejorar el atractivo de los señuelos. Estos compuestos de interés incluyen volátiles de planta huésped, análogos de feromonas, y con menos frecuencia, feromonas interespecíficas emitidas por especies simpátricas (Baroffio et al., 2018; Deng et al., 2022). El conocimiento de la respuesta del comportamiento de los insectos a estas combinaciones de semioquímicos es fundamental para poder determinar la mezcla óptima de volátiles vegetales (aleloquímicos) y feromonas (sexual o agregación). Un ejemplo de lo anterior bajo la técnica de trampeo multiespecie es el estudio de campo llevado a cabo en países europeos de las especies *Anthonomus rubi* (Herbst) (Coleoptera: Curculionidae), *Lygus rugulipennis* (Poppius) (Hemiptera: Miridae) y *Byturus tomentosus* (Geer) (Coleoptera: Byturidae), en donde se comparó diferentes señuelos de feromona de agregación en combinación con volátiles de plantas huésped. En este trabajo se informó la eficacia de captura con la mezcla de feromonas de *A. rubi* y *L. rugulipennis* en campos de frutilla (planta hospedera de ambas especies), y *A. rubi* y *B. tomentosus* en campos de frambuesa (hospedero de ambas especies), adicionando en cada caso volátiles de la planta huésped, los cuales resultaron sinérgicos de la atracción frente a la mezcla feromonal (Baroffio et al., 2018).

### 5.3.2 Atracticida Multiespecies

La táctica de atraer-mata (attracticidas) es el uso de cebos que combinan atrayentes de semioquímicos e insecticidas con el fin de atraer y matar la especie objetivo (Curkovic et al., 2009; Trematerra, 2020). Al igual que ocurre con las variadas tácticas de control basadas en feromonas, la fortaleza y desventaja de la técnica atracticida es su especificidad, inclusive más que la confusión sexual debido a que la interrupción del apareamiento puede lograrse mediante distintos mecanismos y las formulaciones no tienen que ser necesariamente atractivas para resultar efectivas, por ejemplo, la combinación de componentes feromonales y antagonistas de feromonas.

La eficacia del atracticida depende necesariamente del atractivo de la feromona y del contacto del individuo con la fuente que contiene al plaguicida para que se logre una exposición letal o deshabilitante; este último caso es tan importante como la mortalidad puesto que la intoxicación puede inhabilitar al macho para encontrar a la hembra y entonces reducir la fecundidad de las hembras apareadas con dichos machos (Curkovic y Brunner, 2005; Evenden y Mcclaughlin, 2005). Esta tecnología es una alternativa a la aplicación convencional de insecticidas, debido a la reducción de la cantidad de plaguicida utilizado respecto de aplicaciones convencionales (al menos un orden de magnitud menos de i.a. por ha) y también un bajo alcance de este en los campos, lo que reduce el impacto sobre insectos no objetivos, además de usar menor cantidad de feromonas que CS. Así mismo la idoneidad del atracticida como control multiespecie depende de las posibles interacciones entre los componentes sexuales de las especies objetivos, como las proporciones adecuadas dentro de la mezcla y/o la presencia de inhibidores o sinergistas dentro de la formulación (Curkovic y Brunner, 2007; Curkovic et al., 2009; Trematerra, 2020). Un caso de inhibición de feromonas en atracticida multiespecie enfocado en dos especies Tortricidos, *P. pyrusa* y *C. rosaceana*, es el estudio realizado por Curkovic and Brunner (2007), en cual se reportó de la presencia de inhibidores de feromona para *P. pyrusana*.

Ejemplos de atracticidas multiespecies es el estudio de Evenden y MacLaughlin (2005), los cuales estudiaron el atractivo de dos feromonas mezcladas de *Cydia pomonella* y *Cydia molesta* en una fuente con insecticida. La combinación de las feromonas sexuales correspondiente a *Lasioderma serricorne* (Fabricio) (Coleoptera: Lasioderma) y *Ephestia elutella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) con permetrina, también resultó eficaz como atracticida, reduciendo las poblaciones de ambas plagas en plantas de procesamiento de Tabaco (Trematerra, 2020).

### 5.3.3 Autoconfusión Multiespecies

Este relativamente nuevo método de manejo en base a feromonas tiene similitud con la CS. Se basa en el uso de partículas de cera vegetal cargada electrostáticamente, mezcladas con la feromona de la especie objetivo (Trematerra et al., 2013). El mecanismo que opera en esta estrategia de control es el denominado “camino falso” y es esencial que el insecto plaga entre en contacto con la fuente de feromona, de esta manera el polvo cargado electrostáticamente con los componentes feromonales se adhiere al individuo provocando que se desorienta/inhabilite o se acostumbre a la feromona (saturación del sistema receptor de estas señales). Análogamente el polvo adherido al individuo puede transferirse a otros individuos atraídos al primero (que ahora funciona como fuente), provocando sucesivamente una inhabilitación en sus congéneres (Trematerra et al., 2013).

El empleo de autoconfusión simultánea o multiespecie es un área aún no explorada con fuerte potencial al igual que la CSS. Uno de los beneficios de esta tecnología, es la baja cantidad utilizada de feromona respecto de la CS (Trematerra et al., 2013).

Un registro de este sistema de autoconfusión multiespecie, es el caso de la feromona TDA ((Z,E)-9,12-tetradecadienyl acetate) perteneciente a las polillas Pyralidae asociadas con productos almacenados (la polilla de las pasas, *Ephestia cautella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae), polilla mediterránea de la harina, *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) y polilla india, *Plodia interpunctella*). Este componente feromonal se encuentra en las mezclas naturales de estas tres polillas plagas, siendo un componente dominante (primario). Por ello, su uso para supresión simultánea de más de una especie plaga resulta viable y ventajoso para este sistema de autoconfusión (Trematerra et al., 2013).

## 5.4 Especies Manejadas Con Estrategias De Multiespecies a Base a Feromonas

### 5.4.1 Lepidópteros

La comunicación química en los lepidópteros cumple un rol fundamental en su biología reproductiva. Y es sin duda, la feromona sexual, el semioquímico utilizado con mayor éxito en el manejo integrado de lepidópteros, seguido por las feromonas de agregación en coleópteros y dípteros (Witzgall et al., 2010). Las feromonas sexuales de este Orden se han utilizado para confusión sexual, detección y monitoreo, capturas masivas, atracticidas y autoconfusion. La aplicación de mezclas de feromonas de varias especies (para control simultáneo) a través de estas distintas estrategias de manejo, aún se explora y estudia. Especies como *C. pomonella* y *G. molesta* son algunas de las plagas que hoy en día tienen en el mercado dispositivos de señuelos simultáneo (para monitoreo y captura masiva) (Pacific Biocontrol, 2022) y confusión sexual simultáneas (Isomate CM/OFM TT, dispositivo a manos; Isomate CM/OFM Mist plus 142G y Isomate CM/OFM Mist plus, dispositivos aerosol). Así mismo ocurre con *Choristonerua rosaceana* y *Pandemis limitata*; y *Cydia pomonella* con *Cydia caryana* (ver figura 1) (Pacific Biocontrol), entre otras.

Algunos registros de estudios de estrategias feromonales multiespecies en polillas se presentan en la **Tabla 2**.

### 5.4.2 Coleópteros

Las feromonas usadas por especies de este Orden son de dos tipos: sexual y de agregación. Las primeras son aquellas producidas por las hembras y que atraen solo a machos, y la segunda, son atrayentes producidos por los machos los cuales atraen a ambos sexos (Hanks y Millar, 2016). En los casos de las especies perteneciente a la familia de los cerambícidos, estas feromonas sexuales y/o de agregación tienen la particularidad de que son altamente conservadas entre sus congéneres (especies simpátricas y sincrónicas las cuales están estrechamente relacionadas) e incluso entre especies más distantes (diferentes subfamilias, tribus), lo que indica que algunas feromonas se han mantenido sin cambios durante millones de años, y por lo tanto ocurre que hay especies de cerambícidos que utilizan las misma feromonas o unas estructuralmente similares, lo que facilita el desarrollo de mezclas de feromonas para la estrategias de manejo multiespecies. (Rice et al., 2020 y Mitchell et al. 2015)

Los estudios y manejos multiespecies de este Orden mayormente se han centrado en el trapeo masivo, seguido por CS y por último los atracticidas, los estudios registrados se hallan en el **Tabla 2**.

#### **5.4.3 Hemípteros**

Respecto a los artículos relacionados con esta Orden, existen pocos casos documentados de manejo multiespecies, y la mayoría están enfocados en el control a través de trampeos masivos. Un par de estudios se detallan en la **Tabla 2**.

#### **5.4.4 Himenópteros**

Los casos de manejo multiespecies de este Orden, al igual que en los Hemípteros son escasos, sin embargo, existe un estudio realizado en Europa y Asia, en el cual se registró interferencia en la atracción de un señuelo que contenía las feromonas de varias especies plagas forestales de pinos, lepidópteros de la familia Tortricidae, Lasiocampidae, Erebidae, Noctuidae e Himenópteros de la familia Diprionidae (**Tabla 2**)

## VI. CONCLUSIONES

La aplicación de feromonas a través de estrategias multiespecies han demostrado ser útiles para el control de varias especies de importancia económica en el ámbito agrícola y forestal, predominantemente en el Orden de Lepidoptera (principalmente en la familia de los tortricidos), seguido por Coleoptera (centrado mayormente en la familia de los cerambicidos).

Las estrategias más estudiadas y desarrolladas se enfocan en CS y el trampeo masivo simultáneo, y aquellas menos exploradas y con mucho potencial para ser multiespecies son el atraccicida y la autoconfusión.

La implementación y desarrollo de estas estrategias no son muy distintas a la realizada de manera individual, sin embargo, es importante tener presente varios requisitos a la hora de desarrollar esta tecnología, entre ellas es que las especies objetivo sean simpátricas y sincrónica, de igual manera, que sus fenologías coincidan lo más posible.

Por otro lado, la conducta sexual, los mecanismos subyacentes a la CS (para el caso particular de CSS) y la posible atracción cruzada por los componentes de feromonas en la mezcla son los principales factores o desafíos para tener en cuenta en el desarrollo e implementación de estas tecnologías, ya que son las responsables de precisar el diseño (el tipo de emisor y el número por ha, su distribución en campo, carga de feromona y mezcla de compuestos a utilizar). Análogamente, otro aspecto considerable y poco explorados que se asemeja a un tipo de mecanismo de interrupción del apareamiento es el de la autodetección, la cual puede conducir a una conducta anormal por parte de las hembras cuando son expuestas a altas concentraciones de su propia feromona sexual.

## VII. LITERATURA CITADA

- Altesor, P., V. R. Horas, M. P. Arcia, C. Rossini, P. H. G. Zarbin, and A. González. 2010. Reproductive behaviour of *Crociosema* (=Epinotia) *aporema* (Walsingham) (Lepidoptera: Tortricidae): temporal pattern of female calling and mating. *Neotropical Entomology* 39 (3), 324–329.
- Atterholt, C.A., M.J. Delwiche, R.E. Rice, J.M. Krochta. 1999. Controlled release of insect sex pheromones from paraffin wax and emulsions. *Journal of Controlled Release* 57: 233–247
- Baroffio, C. A., L. Sigsgaard, E. J. Ahrenfeldt, A.-K. Borg-Karlson, S. A. Bruun, J. V. Cross, M. T. Fountain, D. Hall, R. Mozuraitis, B. Ralle, N. Trandem, A. Wibe. 2018. Combining plant volatiles and pheromones to catch two insect pests in the same trap: Examples from two berry crops. *Crop Protection* 19:1-8
- Baker, T. C., and R.T Cardé. 1979. Courtship behaviour of the oriental fruit moth (*Grapholitha molesta*): Experimental analysis and consideration of the role of sexual selection in the evolution of courtship pheromones in the lepidoptera. *Annals of the Entomological Society of America* 2: 173-188.
- Baker, T. C. and K. F. Haynes. 1996. Pheromone-mediated optomotor anemotaxis and altitude control exhibited by male oriental fruit moths in the field. *Physiological Entomology* 21, 20–32.
- Brockerhoff, E.G., D. M. Suckling, A. Roques, H. Jactel, M. Branco, A. M. Twidle, V. C. Mastro, M. O. Kimberley. 2013. Improving the Efficiency of Lepidopteran Pest Detection and Surveillance: Constraints and Opportunities for Multiple-Species Trapping. *Journal of Chemical Ecology* 39:50-58.
- Bruce, T. J. A., and L. A. Pickett. 2011. Perception of plant volatile blends by herbivorous insects – Finding the right mix. *Phytochemistry* 72(13), 1605–1611
- Cichón, L., Fernández, D., Raffo, D., Ballivian, T. 2001. Técnica de confusión sexual: Pautas para el uso correcto de la técnica de confusión sexual en los Valles de Río Negro y Neuquén. Río Negro: Argentina. INTA. 8p
- Coracini, M., M. Bengtsson, L. Cichon and P. Witzgall. 2003. Codling moth males do not discriminate between pheromone and a pheromone/antagonist blend during upwind flight. *Naturwissenschaften* 90 (9), 419–423.
- Curkovic, T. and J. F. Brunner. 2005. Residual and sub-lethal effects of an attracticide formulation on *Choristoneura rosaceana* (Harris), *Pandemis pyrusana* Kearfott, and *Cydia pomonella* (L.) males (Lepidoptera: Tortricidae). *Crop Protection* 24 (7): 637-641
- Curkovic, T., J. F. Brunner and P. Landolt. 2006. Courtship behavior in *Choristoneura rosaceana* and *Pandemispyrusana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Annals of the Entomological Society of America* 99: 617-624.

- Curkovic, T., and J. F. Brunner. 2003. Assessment of an attracticide formulation to control *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) in apple orchards in Washington State, USA. *Agricultura Técnica* 63(3): 231-239.
- Curkovic T., J. F. Brunner and P. J. Landolt. 2009. Field and laboratory responses of male leaf roller moths, *Choristoneura rosaceana* and *Pandemis pyrusana*, to pheromone concentrations in an attracticide paste formulation. *Journal of Insect Science* 9: 45.
- Curkovic, T., y C. Ferrera. 2010. Autoconfusión: una nueva tecnología en base a feromonas para el control de *Lobesia botrana* en Chile. *Aconex* 105:5-11
- De Pasqual, C., A.T. Groot, J. Mappes, S. Burdfield-Steel. 2022. Evolutionary importance of intraspecific variation in sex pheromones. *Trends in Ecology & Evolution* 36 (9): 848-859.
- Deng, J., Z. Shen, F. Wang, T. Liu, W. Hong, M. Fang, L. Wo, S. Chu. 2022. Enhancement of attraction to sex pheromone of *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) by structurally unrelated sex pheromone compounds of *Conogethes punctiferalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology* 25 (1): 101859
- Dissanayaka, DMSK., A.M.P. Sammani, L.KW. Wijyaratne, T.C. Bamunuarachchige, W.R. Morrison III. 2020. Distance and height of attraction by walking and flying beetles to traps with simultaneous use of the aggregation pheromones from *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). *Journal of Stored Products Research* 89: 101705
- Eizaguirre, M., R. Albajes, C. Lopez, A. Sans, C. Gemeno. 2007. Inhibition of pheromone response in *Sesamia nonagrioides* by the pheromone of the sympatric corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Pest Management Science* 63:608–614
- El-Sayed A.M. 2022. The Pherobase: Database of Pheromones and Semiochemicals. <<https://www.pherobase.com>> (consultado en febrero 2022).
- Evenden, M.L., G. J. R. Judd, and J. H. Borden. 1999a. Simultaneous disruption of pheromone communication in *Choristoneura rosaceana* and *Pandemis limitata* with pheromone and antagonist blends. *Journal of Chemical Ecology* 25, 501-517.
- Evenden, M.L., G. J. R. Judd, and J. H. Borden. 1999b. Mating disruption of two sympatric, orchard-inhabiting tortricids, *Choristoneura rosaceana* and *Pandemis limitata* (Lepidoptera: Tortricidae) with pheromone components of both species' blends. *Journal of Economic Entomology* 92: 380-390
- Evenden, M. L., and J. R. Mcclaughlin. 2005. Male Oriental Fruit Moth Response to a Combined Pheromone-Based Attracticide Formulation Targeting Both Oriental Fruit Moth and Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology* 98 (2): 317-325.

- Gemeno, C., A. Sans, C. López, R. Albajes, M. Eizaguirre. 2006. Pheromone Antagonism in the European Corn Borer Moth *Ostrinia nubilalis*. *Journal of chemical Ecology* 32:1071-1084
- González, A., P. Altesor, C. Sellanes, C. Rossini. 2012. Aplicación de Feromonas Sexuales en el Manejo de Lepidópteros Plaga de Cultivos Agrícolas, p. 343-360. *In: Rojas C. J. y E. A. Malo (eds.). Temas Selectos en Ecología Química de Insectos. El Colegio de la Frontera Sur. México.*
- González, R., G. Barria, T. Curkovic . 1990. Confusión sexual: Un nuevo método de control específico de la grafolita del durazno, *Cydia molesta* (BUSK). *Revista frutícola* 11 (2): 43-49.
- Gut, L.J. and J.F. Brunner. 1998. Pheromone-based management of codling moths (Lepidoptera: Tortricidae) in Washington apple orchards. *Journal of Agricultural Entomology* 15: 387-405.
- Hanks, L. M., and J. G. Millar. 2016. Sex and Aggregation-Sex Pheromones of Cerambycid Beetles: Basic Science and Practical Applications. *Journal of Chemical Ecology* 42:631-654
- Harari, A. R., T. Zahavi, D. Thiéry. 2011. Fitness cost of pheromone production in signaling female moths. *International Journal of Organic Evolution* 65 (6): 1572-1582
- Igarashi, H.A., M. Nomura, M. Hayashi, K. Nakamuta. 2022. Perception of Heterospecific Sex Pheromone Causes Less Effective Mating Disruption in the Beet Semilooper, *Autographa nigrisigna* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Chemical Ecology* 48:1–6.
- Il'ichev, A.L., D.G. Williams, and L.J. Gut. 2007. Dual pheromone dispenser for combined control of codling moth *Cydia pomonella* and oriental fruit moth *Grapholita molesta* (Busck) (Lep., Tortricidae) in pears. *Journal of Applied Entomology* 131(5): 368–37
- Jahansson, B.G., O. Anderbrant, A. Sierpinski. 2002. Multispecies trapping of six pests of scots pine in Sweden and Poland. *Journal of Applied Entomology*. 126 (5): 212-216.
- Jones, B.C., J. Roland and M. L. Evenden. 2009. Development of a Combined Sex Pheromone-based Monitoring System for *Malacosoma disstria* (Lepidoptera: Lasocampidae) and *Choristoneura conflictana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 38 (2): 459–471
- Juárez, M. L., M. J. Ruiz, P. C. Fernández, L. Goane, M. E. Villagrán, O. E. A. Arce, A. Armiñana, P. G. Páez Jerez, M. H. de la Vega, M. T. Vera, A. T. Groot. 2016. Communication interference in sympatrically occurring moth species. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 158: 25–33
- Judd, G.J.R and M.G.T Gardiner. 2004. Simultaneous disruption of pheromone communication and mating in *Cydia pomonella*, *Choristoneura rosaceana* and *Pandemis*



- limitata* (Lepidoptera:Tortricidae) using Isomate-CM/LR in apple orchards. Journal of the Entomological Society of British Columbia 101: 3-14
- Kim J., E. Lim, H.S. Roh, Y.S. Cho, C.G. Park. 2015. A trap baited with multiple pheromones attracts sympatric hemipteran pests of sweet persimmon. Journal of Asia-Pacific Entomology 18(3): 465-470.
- Kim, K., C. Park and Y. Kim. 2018. Simultaneous mating disruption of two *Grapholita species* in apple orchards. Journal of Asian-Pacific Entomology 21 (4): 114-1152
- Knight, A. L. 2003. Testing an attracticide hollow fibre formulation for control of Codling Moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). Journal of the Entomological Society of British Columbia 100: 71-78.
- Knight, A. L. 2007. Multiple mating of male and female codling moth (Lepidoptera :Tortricidae) in apple orchards treated with sex pheromone. Environmental Entomology 36 (1): 157-64
- Knight, A. L. and T.E. Larsen. 2004. Improved Deposition and Performance of a Microencapsulated Sex Pheromone Formulation for Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) with a Low Volume Application. Journal of the Entomological Society of British Columbia 101: 70-86.
- Koch,U.T., Cardé, A.M., Cardé, R.T., 2002. Calibration of an EAG system to measure airborne concentration of pheromone formulated for mating disruption of the pink bollworm moth, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lep., Gelechiidae). Journal of Applied Entomology 126: 431-435.
- Kuhns, E.H., K. P. Stelinski and L. L. Stelinski. 2012. Reduced Mating Success of Female Tortricid Moths Following Intense Pheromone Auto-Exposure Varies with Sophistication of Mating System. Journal of Chemical Ecology 38:168–175
- Lim, H., M. D. Greenfield. 2007. Female pheromonal chorusing in an arctiid moth, *Utetheisa ornatrix*. Behavioral Ecology 18(1): 165–173
- Lim, H., M. D. Greenfiel. 2008. Female arctiid moths, *Utetheisa ornatrix*, orient towards and join pheromonal choruses. Animal Behaviour 75 (2): 673-680
- Lucchi, A., P. Sambado, A. B. J. Royo, B. Bagnoli, G. Conte and G. Benelli. 2018. Disrupting mating of *Lobesia botrana* using sex pheromone aerosol devices. Environmental Science and Pollution Research volume 25: 22196–22204
- Metzer, H. B. 2004. Las feromonas y sus usos en el manejo integrado de plagas. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) No. 71 p.112-118, 2004
- Miller, J. R., and L. J. Gut. 2015. Mating Disruption for the 21st Century: Matching Technology With Mechanism. Environmental Entomology 44(3): 427–453.

- Mitchell, R.F., P. F. Reage, J. C. H. Wong, L. R. Meier, W. D. Silva, J. Mongold-Diers, J. G. Millar, L. M. Hanks. 2015. Cerambycid Beetle Species with Similar Pheromones are Segregated by Phenology and Minor Pheromone Components. *Journal of Chemical Ecology* 41:431-440
- 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 Get access Arrow. *Journal of Economic Entomology* 77(6): 1513-1519
- Pacific Biocontrol. [En línea]. Washington, USA. Recuperado en: < <https://pacificbiocontrol.com/>>. Consultado el: 10 abril del 2022.
- Palaniswamy, P., W. D. Seabrook. 1985. The alteration of calling behaviour by female *Choristoneura fumiferana* when exposed to synthetic sex pheromone. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 31(1):13-16
- Pearson, G.A., S. Dillery, R. Meyer. 2004. Modeling intra-sexual competition in a sex pheromone system: how much can female movement affect female mating success?. *Journal of Theoretical Biology* 231 (4): 549-555
- Pearson, G.A., and J.R. Meyer. 1996. Female grape root borer (Lepidoptera: Sesiidae) mating success under synthetic sesiid sex pheromone treatment. *Journal Entomology Science* 31 (3): 323-330
- Pérez, A., B. Ammagarahalli, C. Gemenó. 2022. A closer look at sex pheromone autodetection in the Oriental fruit moth. *Scientific Reports* 12:7019.
- Reinke, M.D, P.Y. Siegert, P.S. McGhee, L.J. Gut, J.R. Miller. 2013. Pheromone release rate determines whether sexual communication of oriental fruit moth is disrupted competitively vs. non-competitively. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 150: 1-6
- Reherman, L. G. 2016. Comunicación química intra-sexual en lepidópteros: *Pseudaletia adultera* como modelo de estudio. 67. Tesis de Maestría. Universidad de la República, Facultad de Química, Santiago, Chile.
- Rice, M. E., Y. Zou, J. G. Millar, L. M. Hanks. 2020. Complex Blends of Synthetic Pheromones are Effective Multi-Species Attractants for Longhorned Beetles (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Economic Entomology* XX(XX): 1-7
- Saad, A.D., D.R. Scoot. 1981. Repellency of pheromones released by females of *heliiothis armigera* and *H. zea* to females of both species. *Entomologia experimentalis et applicata* 30 (2): 123-127
- Schmitz, V., M. Renou, R. Roehrich, J. Stockel, and P. Lecharpentier. 1997. Disruption mechanisms in the European grape moth *Lobesia botrana* Den & Schiff. III. Sensory Adaptation And Habituation. *Journal of Chemical Ecology* 23:83-95

Schmitz, V., R. Roehrich, and J. Stockel. 1995. Etude du mecanisme de la confusion sexuelle chez l'Eude'mis de la vigne (*Lobesia botrana* Den et Schiff.). I. Roles respectifs de la competition, du camouflage de la piste odorante et de la modification du signal pheromonal. *Journal of Applied Entomology* 119:131-138

Steffan, S. A., E. M. Chasen, A. E. Deutsch, A. Mafra-Neto. 2017. Multi-Species Mating Disruption in Cranberries (Ericales: Ericaceae): Early Evidence Using a Flowable Emulsion. *Journal of Insect Science* 17(2). 54.

Stelinski, L. L., A. L. Il'ichev and L. J. Gut. 2006a. Antennal and behavioral responses of virgin and mated oriental fruit moth (Lepidoptera : Tortricidae) females to their sex pheromone. *Annals of the entomological society of america* 99 (5): 898-904

Stelinski, L.L., L. J. Gut, J. R. Miller. 2006b. Orientational Behaviors and EAG Responses of Male Codling Moth After Exposure to Synthetic Sex Pheromone from Various Dispensers Orientational Behaviors and EAG Responses of Male Codling Moth After Exposure to Synthetic Sex Pheromone from Various Dispense. *Journal of Chemical Ecology* 32: 1527–1538

Stelinski, L. L., A. L. Il'ichev and L. J. Gut. 2009. Efficacy and Release Rate of Reservoir Pheromone Dispensers for Simultaneous Mating Disruption of Codling Moth and Oriental Fruit Moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal Economic Entomology* 102(1): 315-323

Stelinski, L. L., J. R. Miller, and M. E. Rogers. 2008. Mating disruption of citrus leafminer mediated by a noncompetitive mechanism at a remarkably low pheromone release rate. *Journal of Chemical Ecology* 34: 1107-1113.

Stelinski, L. L., L. J. Gut, A. V. Pierzchala, and J. R. Miller. 2004. Field observations quantifying attraction of four tortricid moth species to high-dosage, polyethylene-tube pheromone dispensers in untreated and pheromonetreated orchards. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 113: 187-196

Stelinski, L. L., L. J. Gut, J. R. Miller. 2005a. Occurrence and duration of long-lasting peripheral adaptation among males of three species of economically important tortricid moths. *Annals of the Entomological Society of America* 98 (4) :580–586.

Stelinski, L. L., L. J. Gut, J. R. Miller. 2005b. Orientational disruption of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lep., Tortricidae), by concentrated formulations of microencapsulated pheromone in flight tunnel assays. *Journal of Applied Entomology* 129 (9 -10): 481–488.

Stelinski, L. L., L. J. Gut, M. Haas, P. McGhee, D. Epstein. 2007. Evaluation of aerosol devices for simultaneous disruption of sex pheromone communication in *Cydia pomonella* and *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal Of Pest Science* 80: 25-233.

Suckling, D. M., W. Shaw, J. G. I. Khoo, V. Cruickshank. 1990. Resistance management of light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera: Tortricidae) by mating disruption. *New Zealand Journal of Crop Horticultural Science* 18: 89–98.

Suterra. [En línea]. USA. Recuperado en: <<https://www.suterra.com/es/>>. Consultado el: 10 abril del 2022.

Symonds, M.R.E. and M. A Elgar. 2008. The evolution of pheromone diversity. *Trends in Ecology and Evolution* 23(4):220-228

Tewari, S., T. Leskey, A.L. Nielsen, J.C. Piñero, C.R. Rodríguez-Saona. 2014. Chapter 9 - Use of Pheromones in Insect Pest Management, with Special Attention to Weevil Pheromones.p.141-168. *In: Dharam P. Abrol (ed.) Integrated Pest Management. Academic Press.*

Trematerra P. 2020. Combined control of *Lasioderma serricorne* (F.) and *Ephestia elutella* (Hbn.) in a tobacco processing facility by attracticide method. *Journal of Applied Entomology* 144: 598-604

Trematerra, P., C. G. Athanassiou, A. Sciarretta, N. G. Kavallieratos, C.Th. Buchelos. 2013. Efficacy of the auto-confusion system for mating disruption of *Ephestia kuehniella* (Zeller) and *Plodia interpunctella* (Hübner). *Journal of Stored Products Research* 55:90-98.

Trematerra, P., V. Stejskal, A. Sciarretta, N. Kavallieratos, N. Palyvos. 2011. Large-scale mating disruption of *Ephestia* spp. and *Plodia interpunctella* in Czech Republic, Greece and Italy. *Journal of Applied Entomology* 135:749–762

TodoAgro.[En línea]. Río Negro, Argentina. Recuperado en: <<https://todo-agro.com/>>. Consultado el: 23 junio del 2022.

Wakefield, M. E., G. P. Bryning, J. Chambers. 2005. Progress towards a lure to attract three stored product weevils, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, *S. oryzae* (L.) and *S. granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 41: 145–161

Wang, F. M., Z.J. Shen, C. Schal, J. J. Zhu, G.X. Zhou, Y.L. Wang, J.R. Wang, J.Y. Denga and N.F. Wane. 2022. Pheromone antagonism in *Plutella xylostella* (Linnaeus) by sex pheromones of two sympatric noctuid moths. *Pest Management Science* 78: 379–387

Welter, S., Peckel, C., Millar, J., Cave, F., Van Steenwyk, R., Dunley, J. 2005. Pheromone mating disruption offers selective management options for key pests. *California Agriculture*. 50 (1): 16-22.

Witzgall, P., P. Kirsch, and A. Cork. 2010. Sex pheromone and their impact on pest management. *J. Chem. Ecol.* 36: 80-100.

Yasuda, T., O. Keiko, H. Hiroya, S. Tomotaka, K. Joji, K. Toshinori, W. Tomonari, T. Ai, Y. Mika, T. Ken, T. Akihiko, Y. Miyoshi, F. Takehiki, M. Fumiaki. 2010. A multi-species pheromone lure: A blend of synthetic sex pheromone components for two mind species, *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) and *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (Heteroptera: Miridae). *Applied Entomology And Zoology* 45(4): 593-599

Yang, M-W., S-L. Dong. and L. Chen. 2009. Electrophysiological and Behavioral Responses of Female Beet Armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner) to the Conspecific Female Sex Pheromone. *Journal of Insect Behavior* 22: 153–164