



Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela para Graduados



**ASPECTOS ECOLÓGICOS DE *Plutella xylostella*
(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) Y SU COMPLEJO
PARASÍTICO EN DIFERENTES VARIEDADES DE
BRASSICACEAE EN EL CINTURÓN VERDE DE
CÓRDOBA, ARGENTINA**

Ing. Agr. Rosita Graciela Espinoza Gavilán

Tesis

Para optar al Grado Académico de
Doctora en Ciencias Agropecuarias

Córdoba, 2023



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

**ASPECTOS ECOLÓGICOS DE *Plutella xylostella*
(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) Y SU COMPLEJO
PARASÍTICO EN DIFERENTES VARIEDADES DE
BRASSICACEAE EN EL CINTURÓN VERDE DE CÓRDOBA,
ARGENTINA**

Ing. Agr. Rosita Graciela Espinoza Gavilánez

Comisión Asesora de Tesis

Director: Dr. Mariano GRILLI

Co-Directora: Dra. Marina BRUNO

Asesora: Dra. Susana AVALOS

Tribunal Examinador de Tesis

Dra. Susana AVALOS

Dra Adriana SALVO

Dr Eduardo TRUMPER

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios de la Salud y la vida, por acompañarme y protegerme en todo momento.

A la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador por el inmenso apoyo al otorgarme la beca para los estudios doctorales, a sus autoridades del Rectorado, vicerrectorado de la Sede-Quito y Extensión Cayambe.

A la Educación Pública Argentina por darme la maravillosa oportunidad de cursar en sus aulas. Al Dr Omar Bachmeier, al Dr Nelson Grosso, a Liliana, Betiana, Mariana, Marianela, Ivan y todo el personal de la Escuela para Graduados de la UNC por su siempre amable y oportuna atención en todos los requerimientos en este proceso doctoral.

A mi director de tesis, Dr. Mariano Pablo Grilli por el tiempo dedicado a mi proceso de formación, por sus consejos, su ejemplo de vida y por ser más que un director de tesis mi “amigo-hermano” de aquí para siempre.

A la Dra. María Alejandra Pérez, por toda su bondad y su motivación para tomar la decisión de ingresar en el doctorado de Ciencias Agropecuarias de la UNC.

A mi co-directora Dra. Marina Bruno por su amistad y acompañamiento en este proceso académico del doctorado.

A mi asesora de la CADOC Dra. Susana Ávalos por su exigencia, su respaldo y sus siempre oportunas sugerencias que me han ayudado mucho a crecer. Siempre le estaré agradecida.

A los Miembros del Tribunal examinador de tesis Dra Adriana Salvo, Dr Eduardo Trumper quienes destinaron su valioso tiempo revisando y aportando significativamente a este trabajo.

A mis profesores de la Escuela de graduados de la Facultad de Agronomía de la UNC por su calidad académica y humana y por enseñarme con el ejemplo que cada cátedra puede ser dictada en equipo sin opacarse unos a otros sino más bien complementándose. ¡Un verdadero placer!

A los productores de hortalizas del Cinturón Verde de Córdoba por permitirme ingresar en sus campos para realizar esta investigación.

A la Dra. Alexandra Martínez, mi amiga y compañera del grupo de Investigación Cultura, Alimentación y Agricultura por sus enseñanzas, su respaldo y sus consejos.

A la Dra. Ana Planchuelo por su amistad, sus consejos, su respaldo, su energía positiva y por las buenas ondas compartidas en cada conversación.

A mi gran amiga la Dra Romina Fachinetti por todo su apoyo en la atapa final de esta tesis.

A mi amigo Diseñador Gráfico Alejandro Barbeito del CREAN por su apoyo en la edición de varios materiales de esta investigación.

Al Ing José Santa por acompañarme varias veces en el trabajo de campo y por brindarme la maravillosa oportunidad de conocer a través de sus sugerencias, a varios escritores y personajes de la Literatura Argentina.

A todos los amigos/as del CREAN: Carina, Sofía, Mónica, Eugenia, Raquel, Moira, Nani, Marcela, Paula, Roberto, al Dr Ravelo (perdón si me olvido de alguien) por haber sido una familia para mí en cada estancia doctoral en Córdoba.

A Agustín, Efraín y Emiliano por acompañarme en las evaluaciones de laboratorio.

Al Grupo CROIX (David y Machi) por buscarme siempre un lugar para vivir en donde pudiera sentirme cómoda el tiempo que pasé en la hermosa Córdoba.

A mi padre, que hasta sus 94 años (+) me enseñó el valor de la amistad, la perseverancia, la Fe, el optimismo y la alegría.

A mi madre, mi primera profesora de lectura, que hoy me sigue enseñando el preciado valor de la educación, la honestidad, la autoestima y la libertad.

A mi pareja Carlos Espinosa por su apoyo y comprensión durante todos mis estudios y por motivarme a que cumpla mis sueños.

A mi suegra (+) que siempre me apoyó y me motivó a seguir adelante con mi educación; a mi suegro que me ha enseñado como la edad no es impedimento cuando uno quiere aprender y empezar de nuevo; a mis hermanas y sus familias (a todos mis sobrinos y sobrinas) que han sido mi motivación para querer aprender cosas nuevas, a mis cuñadas, cuñados y sus familias.

A mis amigos cubanos: Magíster José Juan Silva Trujillo y Dr. Aminael Sánchez por su amistad, su motivación y sus sabios consejos

A todos esos ángeles en forma de amigos/as y compañeros/as de trabajo y fuera de él, por motivarme a cumplir este objetivo.

¡Mi gratitud por siempre para todos!

DEDICATORIA

A la vida maravillosa que cada día al despertar nos permite elegir, si rompemos como el más fino cristal o crecer como una hermosa planta y avanzar como un sabio río. A esta vida que con tanta generosidad me ha permitido vivir experiencias maravillosas en varios países, compartir con seres admirables y sentir que siempre hay una oportunidad para volver a empezar.

A mis estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana, por ser la motivación principal para estar actualizada, y por permitirme disfrutar de mi pasión por compartir los conocimientos adquiridos a lo largo de los años de estudio y en mi trabajo de campo.

A los agricultores/as de Ecuador, Canadá, Cuba, Colombia y Argentina, con quienes he tenido la maravillosa oportunidad de compartir y reafirmar el amor a mi profesión de Ingeniera Agrónoma, a esos agricultores que como mi Papá me enseñaron a valorar el trabajo del campo y a entender que sin ellos la seguridad y soberanía alimentaria siempre estarán en peligro.

Al sector floricultor del Ecuador, por abrirme las puertas para iniciarme en la profesión de Ingeniera Agrónoma y permitir que experimentara lo aprendido en las aulas universitarias en la década del 90. Allí me enamoré de la sanidad vegetal.

RESUMEN

La presente tesis doctoral tuvo como objetivo analizar la variación de la abundancia, preferencia de oviposición, supervivencia y la composición del complejo parasítico de *Plutella xylostella* en distintas variedades de *Brassica oleracea* en la Región Alimentaria de Córdoba (RAC) conocida anteriormente como Cinturón Verde (CV) de Córdoba. Para cumplir con este objetivo se desarrollaron estudios a campo y de laboratorio. A campo se realizaron monitoreos de las poblaciones de *P. xylostella* (PDD) en cultivos comerciales de *B. oleracea* durante tres años. En laboratorio se realizó el seguimiento de inmaduros traídos del campo hasta obtener el adulto de la plaga o su parasitoide. La descendencia proveniente de estos adultos fue alimentada utilizando hojas de cinco variedades de brasicáceas y mantenida en condiciones constantes de temperatura (25° C) y fotoperiodo de 16:8 (L:O). Posteriormente se realizó la evaluación de la preferencia de oviposición y supervivencia de *P. xylostella* en las cinco variedades de *B. oleracea*. La incidencia de la PDD se observó desde el inicio del cultivo, con un pico de densidad coincidente con el estado vegetativo del huésped. El complejo parasítico estuvo integrado por cinco especies de parasitoides, destacándose *Siphona* sp., *Diadegma leontinae* y *Apanteles piceotrichosus*. Con respecto a la preferencia de oviposición, se registraron más huevos en el repollo blanco que en otras brasicáceas. Finalmente, los estados inmaduros presentaron mayor porcentaje de supervivencia en la coliflor. En la RAC, las poblaciones de *P. xylostella* y la de sus parasitoides se comportan de forma local e independiente en cada uno de los lotes. *Diadegma leontinae* se presenta como un parasitoide local con un gran potencial para ser tomado en cuenta en programas de control biológico de conservación. Las hembras de *P. xylostella* prefieren ovipositar en un determinado huésped independientemente de la supervivencia de su descendencia. El monitoreo continuo y el seguimiento de poblaciones de este tipo de plagas son necesarios para el posterior desarrollo de estrategias de Manejo Integrado de Plagas.

Palabras clave: Polilla dorso de diamante, Abundancia, Parasitoides, Preferencia de Oviposición, Supervivencia

ABSTRACT

The objective of this doctoral thesis was to analyze the variation in abundance, oviposition preference, survival and composition of the parasitic complex of *Plutella xylostella* in different varieties of *Brassica oleracea* in the Cordoba Food Region (CFR), formerly known as the Cordoba Green Belt (GB). To meet this objective, field and laboratory studies were carried out. In the field, *P. xylostella* (DBM) populations were monitored in commercial *B. oleracea* crops for three years. In the laboratory, immatures were observed until the adult pest or its parasitoid was obtained. The offspring of these adults were fed with leaves of five brassica varieties and maintained at a constant temperature (25°C) and photoperiod of 16:8 (L:O). Subsequently, evaluation of oviposition preference and survival of *P. xylostella* on the five varieties of *B. oleracea* was carried out. DBM incidence was observed from the beginning of the crop, with a peak density coinciding with the vegetative stage of the host. The parasitic complex was composed of five parasitoid species, including *Siphona* sp., *Diadegma leontinae* and *Apanteles piceotrichosus*. Concerning oviposition preference, more eggs were recorded on white cabbage than on other brassicas. Finally, the immature stages showed a higher survival rate on cauliflower. In the RAC, the populations of *P. xylostella* and its parasitoids behaved locally and independently in each of the plots. *Diadegma leontinae* is presented as a local parasitoid with a great potential to be considered in conservation biological control programs. *P. xylostella* females prefer to oviposit on a given host rather than their offspring surviving. Continuous monitoring and observation of populations of this type of pest is necessary for the further development of Integrated Pest Management strategies.

Key words: Diamondback moth, Abundance, Parasitoids, Oviposition preference, Survival.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	XI
LISTA DE FIGURAS	XII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
Familia Brassicaceae	1
Importancia de las brasicáceas en la alimentación humana	1
El cultivo de brasicáceas en Argentina	2
La Plaga	3
Relación planta-insecto	6
Manejo de <i>Plutella xylostella</i>	7
Control químico.....	7
Control cultural.....	8
Uso de variedades resistentes	9
Plantas transgénicas.....	10
Control biológico.....	10
Manejo Integrado de Plagas	12
Región Alimentaria de Córdoba.....	12
Conectividad del paisaje.....	15
Dispersión de <i>Plutella xylostella</i>	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17

HIPÓTESIS	17
OBJETIVO GENERAL	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
ESTRUCTURA GENERAL DEL DOCUMENTO DE TESIS	20
BIBLIOGRAFÍA CITADA	22
CAPÍTULO 2	37
DINÁMICA ESPACIO TEMPORAL DE <i>Plutella xylostella</i> L. (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) EN LA REGIÓN ALIMENTARIA DE CÓRDOBA	37
INTRODUCCIÓN	37
Colonización de la plaga en lotes de <i>Brassica</i>	38
<i>Plutella xylostella</i> en la Región Alimentaria de Córdoba (RAC)	40
MATERIALES Y MÉTODOS	42
Sitio de estudio	42
Monitoreo de las poblaciones de <i>Plutella xylostella</i> en el área de estudio	42
Procesamiento del material colectado	45
Incidencia de la plaga	45
Densidad de la plaga	46
Análisis de sincronía de las poblaciones de <i>Plutella xylostella</i> en la RAC	47
RESULTADOS	48
Análisis exploratorio de la incidencia y densidad de <i>Plutella xylostella</i>	48
Densidad de la plaga	53
Incidencia de la plaga	57
Sincronía espacial de <i>Plutella xylostella</i> en la RAC	61
DISCUSIÓN	63
BIBLIOGRAFÍA CITADA	71
CAPÍTULO 3	79
COMPOSICIÓN TAXONÓMICA Y DINÁMICA ESPACIO TEMPORAL DEL COMPLEJO PARASÍTICO DE <i>Plutella xylostella</i> EN LA RAC	79

INTRODUCCIÓN	79
MATERIALES Y MÉTODOS	83
Inmaduros de <i>Plutella xylostella</i> para la evaluación de parasitismo en la Región Alimentaria de Córdoba.	83
Seguimiento del parasitismo en <i>Plutella xylostella</i> en condiciones de laboratorio	84
Porcentaje de parasitismo	84
Parasitismo total por lote	85
Parasitismo general y por especie de parasitoide	85
RESULTADOS.....	86
Porcentaje de parasitismo.....	86
Parasitismo total por lote	86
Parasitismo general y por especie de parasitoide	90
Complejo parasítico de <i>Plutella xylostella</i> en la RAC.....	91
DISCUSIÓN	101
CONCLUSIONES	107
BIBLIOGRAFÍA CITADA	108
CAPÍTULO 4.....	117
PREFERENCIA DE OVIPOSICIÓN Y SUPERVIVENCIA DE ESTADOS INMADUROS DE <i>Plutella xylostella</i>	117
INTRODUCCIÓN	117
MATERIALES Y MÉTODOS	120
Cría de <i>Plutella xylostella</i> en condiciones de laboratorio	120
Preferencia de oviposición de <i>Plutella xylostella</i>	121
Supervivencia de <i>Plutella xylostella</i>	122
Análisis estadístico	123
Evaluación de la preferencia de oviposición de <i>Plutella xylostella</i>	123
Evaluación de la supervivencia de <i>Plutella xylostella</i>	123
RESULTADOS.....	124

Preferencia de oviposición de <i>Plutella xylostella</i>	124
Supervivencia de <i>Plutella xylostella</i>	125
DISCUSIÓN	129
CONCLUSIONES	133
BIBLIOGRAFÍA CITADA	134
CAPÍTULO 5	140
CONCLUSIONES GENERALES Y PERSPECTIVAS	140
Propuesta de Manejo Integrado de <i>Plutella xylostella</i>	142
Perspectivas futuras.....	144
Ciencias Agrarias y Ciencias de la vida: dos miradas que deben encontrarse	144
Propuesta de líneas de investigación.....	144
BIBLIOGRAFÍA CITADA	146

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Brassicáceas comestibles de acuerdo con el órgano de consumo, comercializadas en el mercado argentino.....	2
Tabla 2.1: Efectos Fijos de los MLGM para densidad de inmaduros por planta entre lotes.	54
Tabla 2.2. Comparación de a pares LSD de Fisher para densidades de inmaduros entre lotes para el año 2016.....	54
Tabla 2.3. Comparación de a pares LSD de Fisher para densidades de inmaduros entre lotes para el año 2017.....	55
Tabla 2.4. Comparación de a pares LSD de Fisher para densidades de inmaduros entre lotes para el año 2018.....	56
Tabla 2.5. Comparación de a pares LSD de Fisher para densidades de inmaduros entre años.....	57
Tabla 2.6: Efectos Fijos de los MLGM para la incidencia de inmaduros por lote entre años.....	57
Tabla 2.7: Comparación de a pares LSD de Fisher para incidencia de la plaga entre lotes para el año 2016.....	58
Tabla 2.8. Comparación de a pares LSD de Fisher para incidencia de la plaga entre lotes para el año 2017.....	59
Tabla 2.9. Comparación de a pares LSD de Fisher para incidencia de la plaga entre lotes para el año 2018.....	60
Tabla 3.1 Comparación de parasitismo general para los tres años de estudio mediante MLGM.....	90
Tabla 3.2 Comparación proporción de parasitismo por especie por año mediante MLGM.	93
Tabla 3.3 Comparación de la proporción de parasitismo por especie para cada lote de brassicácea durante el año 2016.....	96
Tabla 3.4: Comparación de la proporción de parasitismo por especie para cada lote de brassicácea durante el año 2017.....	97
Tabla 3.5: Comparación de la proporción de parasitismo por especie para cada lote de brassicácea durante el año 2018.....	99

Tabla 4.1: Comparación de preferencia de oviposición entre los 6 tratamientos (5 variedades de <i>Brassica oleracea</i> y <i>Beta vulgaris</i>).	124
---	-----

LISTA DE FIGURAS

Fig.1.1 Ciclo biológico de <i>Plutella xylostella</i>	5
Fig. 1.2 Clasificación del uso y cobertura de la tierra en el área periurbana de la ciudad de Córdoba.....	14
Fig. 1.3 Estructura general de la tesis. Se presentan las temáticas y los objetivos de investigación, así como el tipo de estudio de cada capítulo correspondiente al cuerpo de la tesis.....	21
Fig. 2.1 Ubicación de los 23 lotes de <i>Brassica oleracea</i> estudiados en la RAC durante la primavera del 2016-2017-2018.....	43
Fig. 2.2 Distancia de trasplante de <i>Brassica oleracea</i>	44
Figura 2.3 Muestras de inmaduros de <i>Plutella xylostella</i>	45
Figura 2.4. Densidad de inmaduros (línea continua) por planta y porcentaje de incidencia (línea discontinua) en lotes de <i>Brassica oleracea</i> de la RAC en el año 2016.	49
Figura 2.5. Densidad de inmaduros por planta (línea continua) y porcentaje de incidencia (línea discontinua) en lotes de <i>Brassica oleracea</i> de la RAC en el año 2017.	51
Figura 2.6. Densidad de inmaduros por planta (línea continua) y porcentaje de incidencia (línea discontinua) en lotes de <i>Brassica oleracea</i> de la RAC en el año 2018.	52
Figura 2.7: Relación entre la densidad de inmaduros y el porcentaje de incidencia.	53
Fig. 2.8. Densidad promedio de estados inmaduros de <i>Plutella xylostella</i> en los lotes de la RAC para el año 2016.....	54
Fig. 2.9 Densidad promedio de estados inmaduros de <i>Plutella xylostella</i> en los lotes de la RAC para el año 2017.....	55

Fig. 2.10 Densidad promedio de estados inmaduros de <i>Plutella xylostella</i> en los lotes de la RAC para el año 2018.....	56
Fig. 2.11 Incidencia de inmaduros de <i>Plutella xylostella</i> en lotes estudiados en el año 2016.	58
Figura 2.12 Incidencia de <i>Plutella xylostella</i> en los lotes estudiados en el año 2017.....	59
Figura 2.13. Incidencia de <i>Plutella xylostella</i> en los lotes estudiados en el año 2018.....	60
Figura 2.14 Función de covariación espacial para inmaduros de <i>Plutella. xylostella</i> durante el año 2016.	61
Figura 2.15 Función de covariación espacial para inmaduros de <i>Plutella xylostella</i> durante el año 2017	62
Figura 2.16 Función de covariación espacial para inmaduros de <i>Plutella xylostella</i> durante el año 2018.....	62
Figura 3.1 Inmaduros de <i>Plutella xylostella</i> colectados en campos de brasicáceas de la RAC	83
Figura 3.2 Parasitismo general de <i>Plutella xylostella</i> en la RAC año 2016	87
Figura 3.3 Parasitismo general de <i>Plutella xylostella</i> en la RAC año 2017	88
Figura 3.4 Parasitismo general de <i>Plutella xylostella</i> en la RAC año 2018	89
Figura 3.5 Parasitismo general de <i>Plutella xylostella</i> en la RAC, años 2016, 2017 y 2018.	90
Figura 3.6 Adulto de <i>Diadegma leontinae</i>	91
Figura 3.7 Adulto de <i>Apanteles piceotrichosus</i>	92
Figura 3.8 Adultos del parasitoide gregario <i>Oomyzus sokolowskii</i>	92
Figura 3.9 Adulto de <i>Siphona</i> sp.....	92
Figura 3.10 Adulto de <i>Conura pseudofulvovariegata</i>	93
Figura 3.11 Parasitismo general por especie de parasitoide de <i>Plutella xylostella</i> en la RAC, año 2016.....	94

Figura 3.12 Parasitismo general por especie de parasitoide de <i>Plutella xylostella</i> en la RAC, año 2017.....	95
Figura 3.13 Parasitismo general por especie de parasitoide de <i>Plutella xylostella</i> en la RAC, año 2018.....	95
Figura 3.14 Proporción de parasitismo promedio por especie de parasitoide en lotes estudiados en el año 2016.	97
Figura 3.15 Proporción de parasitismo promedio por especie de parasitoide en lotes estudiados en el año 2017.	98
Figura 3.16 Proporción de parasitismo promedio por especie de parasitoide en lotes estudiados en el año 2018.	100
Figura 4.1 Evaluación de la preferencia de oviposición de <i>Plutella xylostella</i>	121
Figura 4.2 Huevos de <i>Plutella xylostella</i> depositados en el envés de discos de hoja	122
Figura 4.3 Número promedio de huevos de <i>Plutella xylostella</i> depositados en las cinco variedades de brasicáceas:.....	125
Figura 4.4 Curva de supervivencia de las cinco variedades de brasicáceas y el testigo evaluadas en condiciones de laboratorio.....	126
Figura 4.5 Curva comparativa de supervivencia entre los estados/estadios del ciclo biológico de <i>Plutella xylostella</i> en condiciones de laboratorio.....	127
Figura 4.6 Curva de supervivencia de inmaduros de <i>Plutella xylostella</i> en el testigo acelga (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cicla</i>).....	127
Figura 4.7 Curvas comparativas de supervivencia de inmaduros de <i>Plutella xylostella</i> en <i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> (repollo blanco) con cada una de las variedades de <i>B. oleracea</i> evaluadas	128

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

Familia Brassicaceae




La familia botánica Brassicaceae (Brasicáceas) anteriormente llamada Cruciferae (Crucíferas), se halla integrada por numerosas especies distribuidas en zonas templado-frías de todo el mundo y cuenta con un grupo diverso de 350 géneros y alrededor de 3500 especies (Warwick *et al.*, 2013). Entre las especies que forman esta familia se incluyen cultivos económicamente importantes por su aporte de semillas oleaginosas. Algunos de los cultivos de importancia económica son: la colza (*Brassica napus* L.), la mostaza (*Sinapis alba* L.) y hortalizas ampliamente consumidas como el repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*), el brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), la coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), el rábano (*Raphanus sativus* L.) y el nabo (*Brassica rapa* var. *rapa*) (Sarfraz *et al.*, 2005). Las especies hortícolas en su conjunto se clasifican de acuerdo al órgano que se consume (Sarli, 1964). En la Tabla 1.1 se muestran ejemplos de las brasicáceas que se comercializan en el mercado argentino, reunidas por los órganos que forman parte de los usos culinarios en la gastronomía nacional.

Importancia de las brasicáceas en la alimentación humana

En la actualidad se observa una mayor demanda de productos de mejor calidad nutricional por lo que se ha incrementado el consumo de especies hortícolas, entre las que se destacan las brasicáceas tales como las variedades de *Brassica oleracea* L. por constituir una importante fuente de sustancias con alto potencial biológico (Bachiega *et al.*, 2016) y aportar beneficios para la salud (Fernández *et al.*, 2012). Las hortalizas en general y brasicáceas en particular se caracterizan por su alto contenido de agua, fibras y micronutrientes como vitaminas y minerales (Moreno *et al.*, 2006) y pobres en carbohidratos, proteínas y lípidos, con escaso aporte energético (Belitz *et al.*, 2009). El repollo, la coliflor y el brócoli aportan más de la mitad de

requerimientos diarios de vitamina C, carotenos, compuestos nitrogenados y sulfurosos (glucosinolatos) que ayudan a proteger contra algunas enfermedades (Kakisaki, 2016).

Tabla 1.1 Brasicáceas comestibles de acuerdo con el órgano de consumo, comercializadas en el mercado argentino.

Parte comestible	Hortalizas	
Raíces	Nabo (<i>Brassica rapa</i> L. var. <i>rapa</i>), rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.)	
Hojas	Repollos de cabeza blanco (<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>capitata</i>), repollos de cabeza morado (<i>B. oleracea</i> L. var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i>), repollito de Bruselas (<i>B. oleracea</i> L. var. <i>gemmifera</i>).	
Inflorescencias	Coliflor (<i>B. oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i>); brócoli (<i>B. oleracea</i> L. var. <i>italica</i>).	

El cultivo de brasicáceas en Argentina

Entre 1998 y 2018 la producción mundial de brasicáceas hortícolas se incrementó en un 52%, y en 2018 se estima que se cultivaron 3,8 millones de hectáreas en todo el mundo, a este cambio se sumó la intensificación de las prácticas agrícolas, con un aumento del 34 % en el rendimiento de las brasicáceas aportando ahora más de 30.000 millones de dólares a la economía mundial (FAOSTAT, 2020). Si bien la producción hortícola en Argentina representa solo el 0.4

% de la producción agropecuaria total (INDEC, 2020), cumple un rol social fundamental empleando de manera directa aproximadamente a 350000 trabajadores en la etapa primaria de producción (Giobellina, 2017). Córdoba es una de las principales provincias de Argentina que se destacan por su producción de hortalizas, ocupando el segundo lugar en cuanto a volumen producido, después de la provincia de Buenos Aires (Fernández, 2012). El área hortícola periurbana que rodea a la ciudad del mismo nombre y conocido como la Región Alimentaria de Córdoba (antiguo Cinturón Verde de Córdoba), suministra anualmente trescientas mil toneladas de productos hortícolas al mercado de abasto de la ciudad (MERCOOP, 2020). Parte de esa producción está representada por diferentes especies de brasicáceas (APRODUCO, 2020) que encuentran en el clima de Córdoba, las condiciones ideales para su desarrollo durante todo el año. De manera similar a lo que ocurre a nivel mundial, la producción hortícola en Argentina enfrenta numerosas problemáticas entre las que se destaca una alta incidencia de enfermedades y plagas asociados a un incremento del uso de agrotóxicos (Fernández, 2012).

La Plaga

Plutella xylostella (Lepidoptera: Plutellidae) se conoce como polilla del repollo o polilla dorso de diamante (PDD) (Fernández y Álvarez, 1988; Couto *et al.*, 2016;). Sus huéspedes naturales son las brasicáceas silvestres y cultivadas (Sarfraz *et al.*, 2006). *Plutella xylostella* se encuentra en todas las regiones productoras de brasicáceas en el mundo (Massarolli *et al.*, 2019). Es catalogada como la plaga más destructiva de esta familia botánica (Guilloux *et al.*, 2003; Bertolaccini *et al.*, 2010, 2011; Niu *et al.*, 2013; Fu *et al.*, 2014) y uno de los mayores obstáculos en la producción de estos cultivos (Sithole *et al.*, 2018), a los que ataca desde el estado de trasplante hasta la cosecha (Ahmad y Ansari, 2010; Hasanshahi *et al.*, 2014).

La PDD presenta cuatro estados en su ciclo de vida: huevo, larva, pupa y adulto (Talekar y Shelton, 1993) (Figura 2.1). Los huevos son de forma ovalada y de color amarillo pálido a fuerte (Alizadeh *et al.*, 2011). Las larvas son de color amarillo pálido con la cabeza oscura en los estadios tempranos y de color verde claro a oscuro en los estadios posteriores. Las larvas de primer estadio son minadoras y se alimentan del tejido esponjoso del mesófilo de las hojas

(Alizadeh *et al.*, 2011; Munir *et al.*, 2015; Moreira *et al.*, 2016). Mientras que las de los últimos estadios se alimentan del envés de la hoja, excepto la capa de cera del haz y crean un daño en forma de “ventana” (Talekar y Shelton, 1993; Hasanshahi, *et al.*, 2014) (Figura 2.1E). Esta especie posee una alta tasa de alimentación durante el período larvario (Couto *et al.*, 2016) y sus cuatro estadios juveniles se alimentan vorazmente del follaje lo que causa un daño extenso en las brassicáceas (Zhou *et al.*, 2011). En cuanto al daño económico, las larvas de *P. xylostella* son especialmente perjudiciales para las plántulas, ya que se alimentan del meristema apical, provocando la formación de múltiples cabezas en el repollo o la interrupción de la formación normal de flores en el brócoli y la coliflor (Annecke y Moran, 1982). Además de las hojas y las flores, las larvas de esta plaga también se alimentan de las vainas de la colza durante el cuajado, lo que provoca un llenado deficiente de las vainas y una reducción del rendimiento (Lamb, 1989). En el caso del repollo, una vez que la planta ha formado la cabeza, las larvas normalmente dañan las hojas exteriores que son desechadas en la cosecha y, por lo tanto, el daño causado puede no ser económicamente importante (Mustata, 1992). Sin embargo, en infestaciones elevadas las larvas también se alimentan de las inflorescencias en el caso del brócoli o la coliflor y de la cabeza del repollo, lo que provoca el rechazo del producto. Por lo tanto, los daños causados por *P. xylostella* no solo afectan al rendimiento sino también a la calidad del producto (Talekar y Yang, 1991).



Fig.1.1 Ciclo biológico de *Plutella xylostella*. a) huevos, b) larva 1, c) larva 2, d) larva 3, e) larva 4 provocando el daño conocido como “ventana”, f) pupa, g) adulto de la PDD.

Cuando emerge la larva mide alrededor de 11 mm de longitud al final del último estadio. Una vez que las larvas han completado el cuarto estadio, tejen delicados capullos de seda en los que pupan, normalmente en el envés de las hojas. Al principio, las pupas son verdes y después se vuelven parduscas y marrón oscuro a medida que envejecen (Thakur *et al.*, 2022). La pupa

es obecta con una longitud promedio aproximada de 7 mm. El adulto es una polilla de alrededor de 11 mm de longitud, con una expansión alar cercana a los 14 mm.

Plutella xylostella es una especie multivoltina, el número de generaciones por año depende de las temperaturas, siempre que la calidad de la planta hospedadora no sea un factor limitante (Harcourt, 1986). El tiempo de generación (tasa de desarrollo huevo-adulto) dura alrededor de 16 días a 30 °C (Fernández y Álvarez, 1988). Este corto ciclo de vida y la gran capacidad de dispersión que muestra esta plaga son dos de los principales determinantes de las dificultades para su manejo. Además, presenta una alta fecundidad ya que cada hembra puede colocar alrededor de 200 huevos (Sarfraz y Keddie, 2005). La PDD fue el primer insecto plaga de cultivos que se reportó como resistente al dicloro difenil tricloroetano (DDT) (Castelo y Gatehouse, 2001), ha desarrollado resistencia a la mayoría de los insecticidas sintéticos aplicados en campo (Guilloux *et al.*, 2003; Sarfraz *et al.*, 2006; Bahar *et al.*, 2013) y a bioinsecticidas como las toxinas de cristal del *Bacillus thuringiensis* y las espinosinas de *Saccharopolyspora spinosa* (Sarfraz y Keddie, 2005).

Relación planta-insecto

Una de las principales relaciones conocidas entre los insectos y las plantas es la herbivoría, ya que los vegetales representan una fuente segura de alimento (Horn *et al.*, 2011). Los insectos adultos utilizan un conjunto integrado de señales químicas y morfológicas para la localización y el reconocimiento de la planta huésped (Sarfraz *et al.*, 2006). La variación presente en la elección de la planta huésped es la materia prima para la evolución de nuevas relaciones fitófago-planta, así como para la especialización de la plaga y de ser el caso, el desarrollo de procesos co-evolutivos (Pérez, 1999).

La mayoría de las plantas disponen de mecanismos químicos o estructurales que les permiten defenderse contra agentes exógenos. Los mecanismos químicos pueden ser: ceras, alcaloides, terpenoides, glicósidos, compuestos fenólicos, mientras que entre los estructurales se señala la presencia de espinas o de tricomas (De la Peña, 2009). *Plutella xylostella* es una

plaga especialista de brasicáceas cultivadas y silvestres que se caracterizan por presentar compuestos vegetales azufrados llamados glucosinolatos. Dichos compuestos desempeñan un papel importante en los mecanismos de defensa de las plantas contra los insectos generalistas y en la atracción de herbívoros especializados como *P. xylostella* (Sarfraz *et al.*, 2006). La presencia de una alta cantidad de glucosinolatos caracteriza a las brasicáceas susceptibles a la infestación por *P. xylostella* (Jafary *et al.*, 2019).

La oviposición es uno de los aspectos más importantes de la infestación de estos insectos, ya que sus larvas raramente se mueven de una planta a otra; por consiguiente, la propagación de una infestación de este tipo de plagas está fuertemente influenciada por la preferencia de oviposición que tengan sus hembras (Talekar *et al.*, 1994). Estudios realizados por Ang *et al.*, (2016) indicaron que la oviposición por parte de *P. xylostella* es variable y depende de la especie de planta huésped y del daño por herbivoría en la planta hospedadora (Ang *et al.*, 2016).

Manejo de *Plutella xylostella*

Se estima que *P. xylostella* le cuesta a los productores de brasicáceas de todo el mundo entre 4.000 y 5.000 millones de dólares anuales en pérdidas directas y costos de manejo (Zalucki *et al.*, 2012; Srinivasan *et al.*, 2017). Dado que esta plaga es un problema mundial, la cooperación internacional es crucial para el desarrollo de estrategias de manejo eficaces (Talekar y Griggs, 1986; Endersby y Ridland, 2004; Srinivasan *et al.*, 2017, 2021). Entre las estrategias de manejo propuestas a nivel mundial para esta plaga se destacan cuatro: control químico, control cultural, uso de variedades resistentes y control biológico (Mena y Hernández, 2017).

Control químico

Desde la introducción del DDT en la década de 1940, los esfuerzos para controlar *P. xylostella* siguieron dependiendo en gran medida de las aplicaciones de insecticidas (Talekar y Shelton, 1993; Sarfraz y Keddie, 2005; Grzywacz *et al.*, 2010). En Argentina este método es el

más empleado, sino el único para manejar a esta plaga. Debido al amplio uso de insecticidas las poblaciones de la PDD en muchas partes del mundo han desarrollado resistencia a prácticamente todas las clases de insecticidas (Zhao *et al.*, 2006). En un intento por superar la resistencia, los agricultores aumentan las dosis y/o utilizan mezclas de varios insecticidas, aplicando repetidamente (a veces más de una vez a la semana) lo que aumenta enormemente el costo de producción (Sereda *et al.*, 1997; Furlong *et al.*, 2013).

En la actualidad, las poblaciones de *P. xylostella* resistentes a los insecticidas están causando enormes pérdidas económicas en distintos lugares del mundo (Attique *et al.*, 2006; Abro *et al.*, 2013; Ravsaheb y Tayde, 2022). Por ello el manejo de la resistencia a los insecticidas en *P. xylostella* es un importante tema de investigación (Zhao y You, 2001; Zhao *et al.*, 2006; Sapkota *et al.*, 2022) y se reconoce ampliamente que la única forma de prolongar el desarrollo de la resistencia es aplicar insecticidas solo cuando sea necesario. Si bien esta estrategia puede contribuir en gran medida a conservar la eficacia de los insecticidas con modos de acción únicos, como el Spinosad y el Indoxacarb (Zhao *et al.*, 2006), resulta fundamental que se apliquen otros métodos de manejo de la plaga, especialmente aquellos que puedan actuar sobre su población en función de la densidad.

Control cultural

El control cultural de la plaga constituye una forma de modificación de su hábitat. Este tipo de control incluye prácticas como los cultivos trampa, los cultivos intercalados y el uso de riego por aspersión (Walgenbach, 2018). El cultivo trampa consiste en plantar, cerca del cultivo a proteger, franjas de una planta emparentada, pero económicamente menos importante que resulte muy atractiva para la oviposición del insecto plaga, y menos adecuada para el desarrollo de su descendencia (Badenes *et al.*, 2004; Muniappan *et al.*, 2004; Sherbrooke, 2019). Cuando es eficaz, el cultivo trampa puede reducir sustancialmente el costo de controlar las plagas objetivo en el cultivo principal (Badenes *et al.*, 2005).

En el caso del cultivo de brasicáceas, el intercalado de surcos de mostaza india (*Brassica juncea*) entre los surcos de brasicáceas de más valor económico hace que las infestaciones de *P. xylostella* sean menores (Charleston y Kfir, 2000). Por su parte el método del cultivo intercalado consiste en plantar franjas de un cultivo no relacionado en un lote en particular, con el propósito de crear una barrera física entre el insecto plaga objetivo y sus plantas huésped e interrumpir los estímulos químicos y/o visuales de las plantas huésped (Hooks y Johnson, 2003). El cultivo intercalado puede tener un valor económico menor, similar o superior al del cultivo que se desea proteger. Por ejemplo, se ha demostrado que intercalar repollo con tomate reduce las infestaciones de *P. xylostella* en el repollo (Bach y Tabashnik, 1990). En este caso es importante mencionar que esta metodología resulta efectiva si el cultivo a intercalar se siembra antes que la brasicácea (Hooks y Johnson, 2001).

Está ampliamente aceptado que las precipitaciones reducen la densidad de población de *P. xylostella* mediante el lavado y ahogamiento de los estadios inmaduros (Harcourt, 1986; Wakisaka *et al.*, 1992; Rahman, 2019). Este efecto se amplió para incluir el uso del riego por aspersión como medida de control cultural de esta plaga, ya que algunos estudios han demostrado que afecta negativamente a la densidad de *P. xylostella* (Tabashnik y Mau, 1986; McHugh y Foster, 1995). De todos modos, según Kobori y Amano (2003), para que las precipitaciones afecten negativamente a la densidad de población de esta especie, tienen que ser intensas durante un periodo prolongado.

Uso de variedades resistentes

El comportamiento diferencial de *P. xylostella* en distintas especies de *Brassica* o, al menos, en diferentes cultivares de la misma especie sólo se ha estudiado en contadas ocasiones (Eigenbrode *et al.*, 1991; Hamilton *et al.*, 2005; Sarfraz *et al.*, 2007). Sin embargo, no hay pruebas de que existan diferencias significativas en las tasas de supervivencia de este lepidóptero en cultivares disponibles comercialmente. Por lo tanto, la resistencia de las plantas contra *P. xylostella* no se ha explorado ni manipulado hasta el momento (Verkerk y Wright, 1996; Grzywacz *et al.*, 2010).

Plantas transgénicas

La introducción de genes insecticidas de *Bacillus thuringiensis* (Berliner) en plantas de cultivo es un gran éxito en la aplicación de la tecnología de ingeniería genética vegetal a la agricultura (Gatehouse, 2002). De manera muy efectiva el despliegue del maíz y el algodón *Bt* redujo drásticamente la necesidad de aplicar insecticidas contra las plagas de lepidópteros (Grzywacz *et al.*, 2010). Sin embargo, la adaptación de las plagas de insectos a los genes *Bt* es cada vez más preocupante, ya que las plagas objetivo están continuamente expuestas a la toxina durante todo el desarrollo del cultivo y, por tanto, la presión de selección es alta. Ya existen informes de plagas de lepidópteros del algodón y el maíz que desarrollaron resistencia a los cultivos *Bt* (Kruger *et al.*, 2009; Tabashnik *et al.*, 2009). Teniendo en cuenta que *P. xylostella* ya ha desarrollado resistencia a las pulverizaciones foliares de *Bt* (Tabashnik, 1994), existe el riesgo de que esta plaga desarrolle resistencia a los cultivos genéticamente modificados con esta toxina.

Control biológico

Este método se basa en el uso de organismos vivos para suprimir la densidad de población o el impacto de un organismo plaga específico, haciéndolo menos abundante o menos dañino de lo que sería de otro modo (Eilenberg *et al.*, 2001). Existen antecedentes de que organismos causantes de enfermedades, como el hongo entomófago *Zoophthora radicans* (Brefeld) Batko (Entomophthoromycota: Entomophthorales), podían ser efectivos incrementando la mortalidad de larvas de *P. xylostella* (Manfrino *et al.*, 2018). Sin embargo, actualmente es muy raro encontrar larvas de *P. xylostella* infectadas. Otro hongo entomófago que ha mostrado potencial contra esta especie de lepidóptero es *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Agboyi *et al.*, 2020). Para aumentar el impacto de estos hongos patógenos sobre la PDD, actualmente se utilizan como aislados, y se dispone comercialmente de una cada vez más amplia variedad de micoinsecticidas (Sarfraz *et al.*, 2005). Se ha descrito también que artrópodos depredadores como arañas (Lycosidae, Oxyopidae, Clubionidae y Theridiidae) y escarabajos (Carabidae y Coccinellidae) depredan larvas de *P. xylostella* (Furlong *et al.*, 2008).

Los parasitoides primarios, es decir, los insectos que viven libres como adultos y las hembras buscan insectos herbívoros huéspedes en o sobre los que sus crías puedan desarrollarse hasta la madurez (Ríos, 2011), son importantes enemigos naturales de las plagas de insectos en muchos sistemas de cultivo. Dado que los parasitoides buscan activamente a sus hospedadores y pueden parasitarlos de forma dependiente de la densidad, no sólo constituyen un factor principal capaz de regular las poblaciones de plagas, sino que también son un recurso natural que se autoperpetúa (Bernal, 2014). Kfir (2011) demostró utilizando un método de exclusión mediante insecticidas, que los parasitoides son un importante factor de mortalidad de *P. xylostella*. Aquellas regiones donde esta plaga produce pérdidas importantes parecen carecer de parasitoides primarios eficientes (Lim, 1986). Sin embargo, existen otras causas que reducen el impacto de los parasitoides sobre *P. xylostella* en una zona (Sarfraz *et al.*, 2005). Entre las más señaladas se destaca la aplicación indiscriminada de insecticidas por parte de los agricultores, y considerada, además, responsable de las dificultades actuales en el control de *P. xylostella* y un factor clave en la elevación de su estatus de plaga en muchas partes del mundo (Grzywacz *et al.*, 2010).

Los parasitoides viven a expensas de su hospedador durante los estadios larvarios, ya que en su vida adulta se alimentan de néctar y son de vida libre (Badii y Abreu, 2006). Son considerados como una alternativa al uso de plaguicidas para regular las poblaciones de insectos plagas en los cultivos (Meiners y Peri, 2013). Los principales grupos de parasitoides utilizados en el control biológico pertenecen a los órdenes: Hymenoptera (la mayoría avispas de las superfamilias Chalcidoidea, Ichneumonoidea y Proctotrupeoidea) y Diptera (moscas, especialmente de la familia Tachinidae) (Paredes *et al.*, 2013). *Plutella xylostella* es atacada por una amplia gama de enemigos naturales (Furlong *et al.*, 2013), entre los más significativos se encuentran los parasitoides (Azidah *et al.*, 2000; Jankowska y Wiech, 2006; Hasanshahi *et al.*, 2014) que actúan como importantes factores de regulación de la plaga en condiciones naturales (Bertolaccini *et al.*, 2010). Se ha reportado que todos los estadios de la PDD son afectados por varias especies parasíticas (Talekar y Shelton, 1993; Shakeel *et al.*, 2017; Curis *et al.*, 2019).

Manejo Integrado de Plagas

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) constituye un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la selección y el uso de tácticas individuales o múltiples para el control de plagas (Kogan y Shenk, 2002). Entre sus tácticas involucra la reducción al mínimo del uso de plaguicidas (Murguido y Elizondo, 2007), otorgando máxima prioridad a las medidas preventivas. Entre estas últimas promueve la eliminación de las prácticas agrícolas con impacto negativo y la protección de los recursos naturales antagonistas de las plagas. Un programa de MIP requiere de ciertos componentes básicos entre los que se incluyen el monitoreo de las especies perjudiciales y de sus enemigos naturales, además de estudios de las interacciones fitófago-cultivo y el clima, así como aspectos fenológicos de las plagas y sistemas de información complementados con asesoría técnica (Bujanos *et al.*, 2013). El Manejo Integrado de *P. xylostella* combina el uso adecuado de los métodos mencionados anteriormente: control químico, control cultural, uso de variedades resistentes y control biológico (Bertolaccini *et al.*, 2011), a los que habría que sumar el control legal. El control legal consiste en establecer vedas en la siembra o trasplante de las brassicáceas con el objetivo de reducir la población de la plaga en el siguiente ciclo (Bujanos *et al.*, 2013).

Región Alimentaria de Córdoba

El área peri-urbana de la ciudad de Córdoba ha sido definida recientemente como “Región Alimentaria de Córdoba” (RAC). Esta área resulta fundamental como proveedora de servicios ecosistémicos por medio de los alimentos de cercanía producidos por sus unidades productivas integradas por agricultores que desde hace muchos años producen en esta región utilizando los recursos como el suelo y la infraestructura (Giobellina *et al.*, 2022). Originalmente, esta área se conocía como el “Cinturón Verde” y se divide en 3 sectores bien definidos: Norte, Este y Sur de la ciudad de Córdoba. Esta región llegó a tener en la década de los 80 una superficie de 37222 has. Contaba con riego por gravedad (Lanfranconi *et al.*, 1987), siendo el área más importante del centro de la provincia de Córdoba con más del 60 % de la

superficie bajo explotación hortícola (Sánchez y Barbieri, 2013). A fines del siglo XX esta región se conocía como “Cinturón Verde de Córdoba” ya que estaba en contacto inmediato con la ciudad Capital y se dividía en tres zonas contiguas: al norte con 484 unidades productivas abarcando un área de 6929 hectáreas de superficie hortícola, al sur 7513 hectáreas de producción hortícola (183 unidades productivas) unidas en el este por el área de Chacra de la Merced con 328 hectáreas de lotes hortícolas (Lanfranconi *et al.*, 1987). A partir del año 2000, se comienza a evidenciar un proceso de desplazamiento del sistema de quintas hacia zonas más alejadas de la ciudad de Córdoba y fuera de la zona del sistema de riego central y la desaparición de unidades productivas de la RAC (Coppi, 2002; Carvajal, 2014). Actualmente existen nuevos estudios sobre las características físicas y las transformaciones espaciales en el área del antiguo “Cinturón Verde de Córdoba” mediante técnicas de teledetección (Mari y Pons, 2015; Mari, 2017, 2018, Mari *et al.*, 2019). Mediante esta metodología fue posible establecer la expansión de la infraestructura urbana y el decrecimiento del área de uso hortícola (Marinelli, *et al.*, 2019; 2020; 2021). Estudios recientes han dado cuenta de la desaparición casi total de las áreas productivas de la sección del Cinturón Verde histórico al este de la ciudad capital, zona de Chacra de la Merced, reconvirtiendo esta área en una zona industrial, principalmente con la extracción de áridos para la construcción en la ciudad (Criado, 2015, 2020). Si bien no existen barreras físicas importantes, la desaparición de lotes dedicados a huertas del área oeste de la RAC, hace que en la actualidad el área de producción hortícola en las inmediaciones de la ciudad de Córdoba sólo se distribuya en dos zonas; norte y sur, formando dos conglomerados separados espacialmente (Marinelli, 2020) (Fig. 1.2).

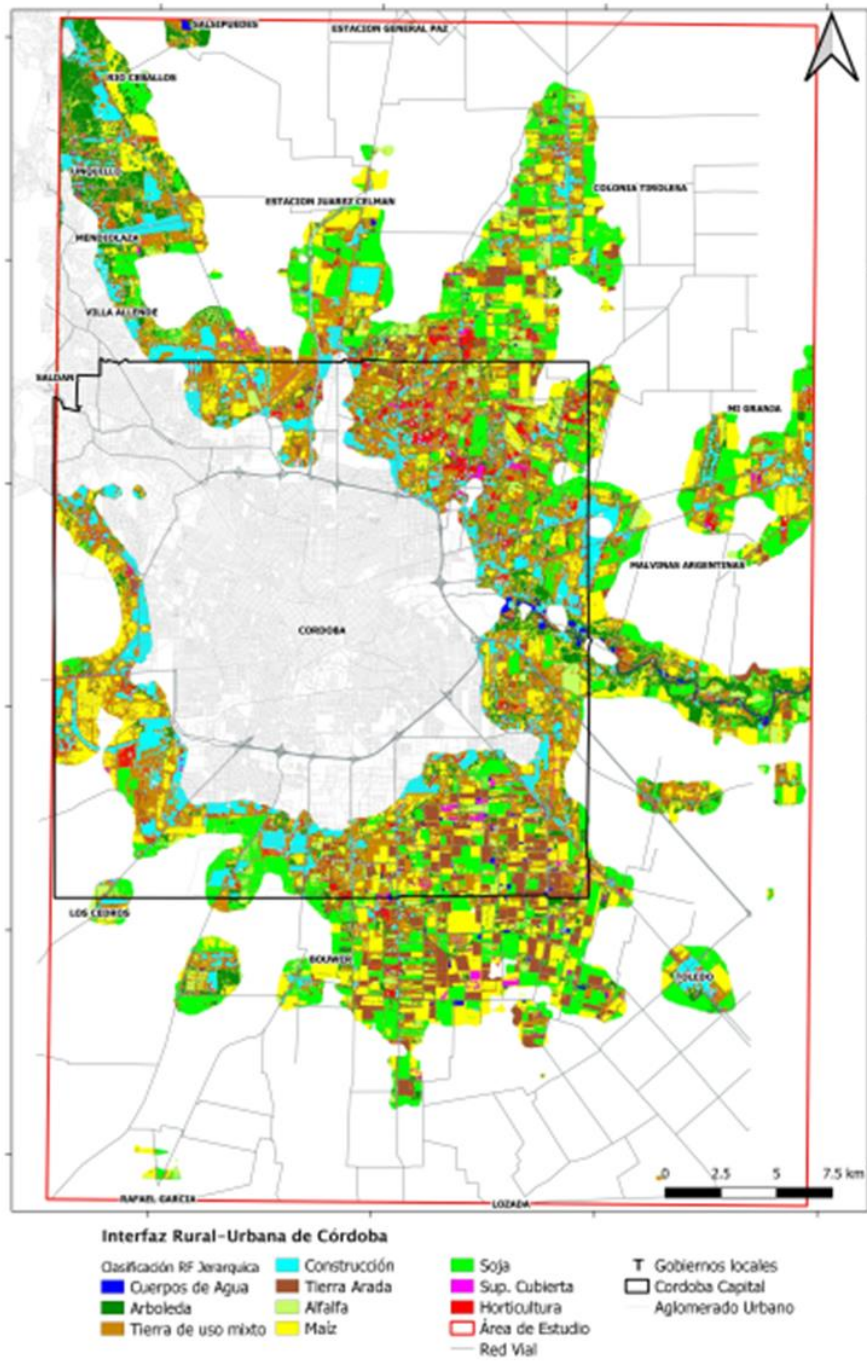


Fig. 1.2 Clasificación del uso y cobertura de la tierra en el área periurbana de la ciudad de Córdoba.

Tomado de Marinelli (2020).

Conectividad del paisaje

La conectividad del paisaje es un concepto clave que engloba todos los aspectos que afectan al desplazamiento de un individuo entre parcelas de recursos o hábitats dentro de paisajes (Baguette y Van Dyck, 2007). Esta conectividad es importante porque influye en el acceso a los recursos y en la colonización de hábitats “vacíos”. Sin embargo, la persistencia de la población a escala del paisaje depende en última instancia del equilibrio entre reproducción y mortalidad (Taylor *et al.*, 2007). En cierta forma se puede definir a la conectividad del paisaje como una "propiedad emergente" de las interacciones entre las especies y el paisaje, resultante de la interacción entre un proceso de comportamiento (movimiento) y la estructura física del paisaje. Se trata, por tanto, de una propiedad dinámica que se evalúa a escala del paisaje (teniendo en cuenta organismos o conjuntos de organismos concretos) y no es simplemente una propiedad agregada de un conjunto de parches de hábitat dentro del paisaje. Un paisaje con alta conectividad es aquel en el que los individuos de una especie determinada pueden desplazarse fácilmente entre hábitats adecuados (Alonso *et al.*, 2017). Sobre esta base es posible definir tres componentes de la conectividad de un paisaje: (1) las pautas de movimiento y el comportamiento de las especies, (2) el tamaño y la disposición de las parcelas de los recursos y (3) la permeabilidad de la matriz (Taylor *et al.*, 2007).

A grandes rasgos, podemos considerar dos tipos de conectividad del paisaje: estructural y funcional. La conectividad estructural ignora la respuesta conductual de los organismos a la estructura del paisaje y describe únicamente las relaciones físicas entre las parcelas de hábitat, como los corredores de hábitat o las distancias entre parcelas (Collinge y Forman, 1998). Se mide fácilmente con una variedad de métricas de paisaje o enfoques analíticos espaciales (por ejemplo, Gustafson 1998; Moilanen y Nieminen 2002). La conectividad funcional en cambio, tiene en cuenta la respuesta del organismo en estudio a los elementos que componen el paisaje (Tischendorf y Fahrig, 2000). Es por esto que la conectividad funcional aumenta cuando algún cambio en la estructura del paisaje (incluidos, entre otros, los cambios en la conectividad estructural) incrementa el grado de movimiento o flujo de los organismos a través del paisaje. Así pues, el concepto original de conectividad del paisaje hace hincapié en la conectividad

funcional de los paisajes. Esta distinción entre conectividad estructural y funcional no es trivial. En primer lugar, el hábitat no tiene por qué estar conectado estructuralmente para estar conectado funcionalmente. Algunos organismos, gracias a su capacidad de dispersión, son capaces de conectar recursos a través de una matriz inhabitable o parcialmente inhabitable (Dale *et al.* 1994; Desrochers *et al.* 1998; Pither y Taylor 1998; Hinsley, 2000; Belisle y Desrochers 2002). Por lo general, no es posible extrapolar simplemente las medidas de conectividad estructural (como las distancias entre parches de hábitat) para obtener una medida de la conectividad global del paisaje. Esto se debe a que las medidas de conectividad estructural ignoran la variabilidad del comportamiento de los organismos organismo(s) en respuesta a la estructura del paisaje, e ignoran las influencias a mayor escala de la estructura del paisaje en las decisiones de movimiento a menor escala.

Dispersión de *Plutella xylostella*

Si bien en los últimos años la estructura espacial del área hortícola de Córdoba se ha visto afectada, principalmente en su conectividad estructural, la alta capacidad de dispersión de *Plutella xylostella* que le permite recorrer miles de kilómetros bajo ciertas condiciones (Wainwright, *et al.* 2020, Schellhorn *et al.*, 2008, Coulson *et al.*, 2002) (ver capítulo 2) y considerando que la dirección principal de los vientos (durante primavera-verano) para el área central de Córdoba es N/NE hacia S/SO (Vázquez *et al.* 1979), nos permite preguntarnos: ¿Existen diferencias en términos de colonización de los parches en las diferentes áreas de la RAC? ¿Independientemente de la ubicación de los lotes dentro de la RAC, la probabilidad de ser afectados por *P. xylostella* es la misma para todos ellos?

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A pesar de la situación mundial de la plaga *P. xylostella*, se conoce poco su relativa abundancia y distribución en América del Sur. En la región sudoriental del Brasil, Marchioro y Foerster (2011) dieron una lista de los enemigos naturales de esta plaga, entre ellos *Diadegma leontiniae* (Hymenoptera: Ichneumonidae), *Apanteles piceotrichosus* (Hymenoptera: Braconidae), *Oomyzus sokolowskii* y, por primera vez, *Siphona* sp. (Diptera: Tachinidae). En Argentina en particular, hay pocos estudios sobre este micro lepidóptero y sus enemigos naturales. Algunas investigaciones pioneras se llevaron a cabo en la provincia de Santa Fe, donde Bertolaccini *et al.*, (2010) encontraron que los enemigos naturales más significativos fueron, *Oomyzus* sp, *Cotesia* sp. y *Diadegma* sp. Sin embargo, no se dispone de información referente a aspectos ecológicos que determinan el comportamiento de estas especies en ecosistemas locales como es el CV de Córdoba, hoy parte de la Región Alimentaria de Córdoba (RAC) (Giobellina *et al.*, 2022). Resulta necesario conocer la fluctuación de abundancia e incidencia de los estados inmaduros (larva y pupa) de la plaga en los cultivos de brasicáceas, así como la composición taxonómica local del complejo parasítico de este lepidóptero en las diferentes variedades cultivadas en la zona. Particular interés reviste, además, analizar la preferencia de oviposición por parte de la hembra de *P. xylostella* y la sobrevivencia de sus estados inmaduros en las principales variedades de brasicáceas cultivadas en la zona de estudio.

HIPÓTESIS

La presente Tesis Doctoral incluye tres bloques de trabajo para los cuales se emplearon diferentes metodologías para comprobar o rechazar postulados científicos particulares. A continuación, se presentan una hipótesis por cada uno de estos bloques de trabajo que corresponden a los capítulos 2, 3 y 4 de la presente investigación.

Bloque 1 (Capítulo 2): Dinámica espacio temporal de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) en la RAC.

Hipótesis 1

*Las características ambientales y del paisaje del área periurbana de la ciudad de Córdoba, y la capacidad de dispersión de *Plutella xylostella* facilitan la colonización de lotes de *Brassica oleracea* por parte de esta plaga.*

Predicciones

- Todos los lotes de *Brassica oleracea* de la zona de estudio se verán afectados por *P. xylostella*.
- La variación de la abundancia de *P. xylostella* en los diferentes lotes de la RAC será similar independientemente de la ubicación en que se encuentren.
- A causa de la facilidad de colonización de los lotes, la incidencia en términos de la proporción de plantas afectadas por lote será similar en todos los lotes analizados.

Bloque 2 (Capítulo 3): Composición taxonómica y dinámica espacio temporal del complejo parasítico de *Plutella xylostella* en la RAC

Hipótesis 2

*Las características ambientales del paisaje y uso de la tierra del área periurbana de la ciudad de Córdoba favorecen la presencia de varias especies de parasitoides de *P. xylostella* en el área de estudio.*

Predicciones:

- Se espera que la importancia relativa de las especies de parasitoides de *P. xylostella* sea variable en cada uno de los lotes estudiados.
- Por otra parte, también se espera que existan diferencias en el porcentaje de parasitismo en las poblaciones de *P. xylostella* en los diferentes lotes estudiados de la RAC.

Bloque 3 (Capítulo 4): Preferencia de oviposición y supervivencia de estados inmaduros de *Plutella xylostella*

Hipótesis 3

Teniendo en cuenta que las variedades de brasicáceas cultivadas presentan diferencias en la concentración de glucosinolatos, y que estos compuestos dominan las interacciones entre *P. xylostella* (Jafary et al., 2019) y sus huéspedes (Furlong et al. 2013), se propone como hipótesis que *P. xylostella* muestra diferencias en la preferencia de oviposición y supervivencia de sus estados inmaduros en las distintas variedades de *Brassica oleracea* cultivadas en la RAC.

Predicciones:

- Las hembras de *P. xylostella* ovipondrán más en repollito de Bruselas por su mayor concentración de glucosinolatos que en las otras variedades de *Brassica oleracea* presentes en la RAC.
- Las larvas de *P. xylostella* tendrán una mayor supervivencia en el repollito de Bruselas que en las otras variedades de *Brassica oleracea* cultivadas en la RAC.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de la presente tesis fue analizar la variación de la densidad, incidencia, preferencia de oviposición, supervivencia y la composición del complejo parasítico de *Plutella xylostella* en distintas variedades de *Brassica oleracea* en la RAC.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar y comparar la dinámica, densidad e incidencia de estados inmaduros de *P. xylostella* en diferentes lotes de *Brassica oleracea* ubicados en la RAC.
2. Describir y comparar la composición taxonómica, fluctuación de abundancia y porcentaje de parasitismo del complejo parasítico de *Plutella xylostella* en lotes de la RAC.
3. Comparar la preferencia de oviposición y la supervivencia de estados inmaduros de *P. xylostella* en cinco variedades de *Brassica oleracea* cultivadas en la RAC.

ESTRUCTURA GENERAL DEL DOCUMENTO DE TESIS

La estructura general del documento de tesis se presenta en la Figura 1.2. La terminología y los conceptos teóricos explicados en el Capítulo 1 serán empleados a lo largo del documento de tesis. El capítulo 2 comienza con el estudio de la dinámica espacio-temporal de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) en la RAC. Este contenido es seguido por el capítulo 3 en el que se muestran los resultados referentes a la composición taxonómica y la dinámica espacio-temporal del complejo parasítico de *P. xylostella* en la RAC. Posteriormente en el capítulo 4 se exponen los resultados del estudio en condiciones de laboratorio sobre la preferencia de oviposición y supervivencia de estados inmaduros de *Plutella xylostella*. En su conjunto los capítulos 2, 3 y 4 constituyen un robusto cuerpo teórico que arroja conocimiento sobre las diferentes aristas que constituyen una mirada integral a la plaga en estudio. El capítulo 5 es un esfuerzo para contribuir al diseño de estrategias de Manejo Integrado de *P. xylostella* mediante la presentación de la evidencia recabada en el documento de tesis y que es presentada en forma de conclusiones generales y sus implicaciones prácticas. Finalmente se menciona nuestra visión de hacia dónde debe dirigirse la investigación de *P. xylostella* considerando las brechas en el conocimiento de esta plaga que hemos cubierto con nuestro trabajo.

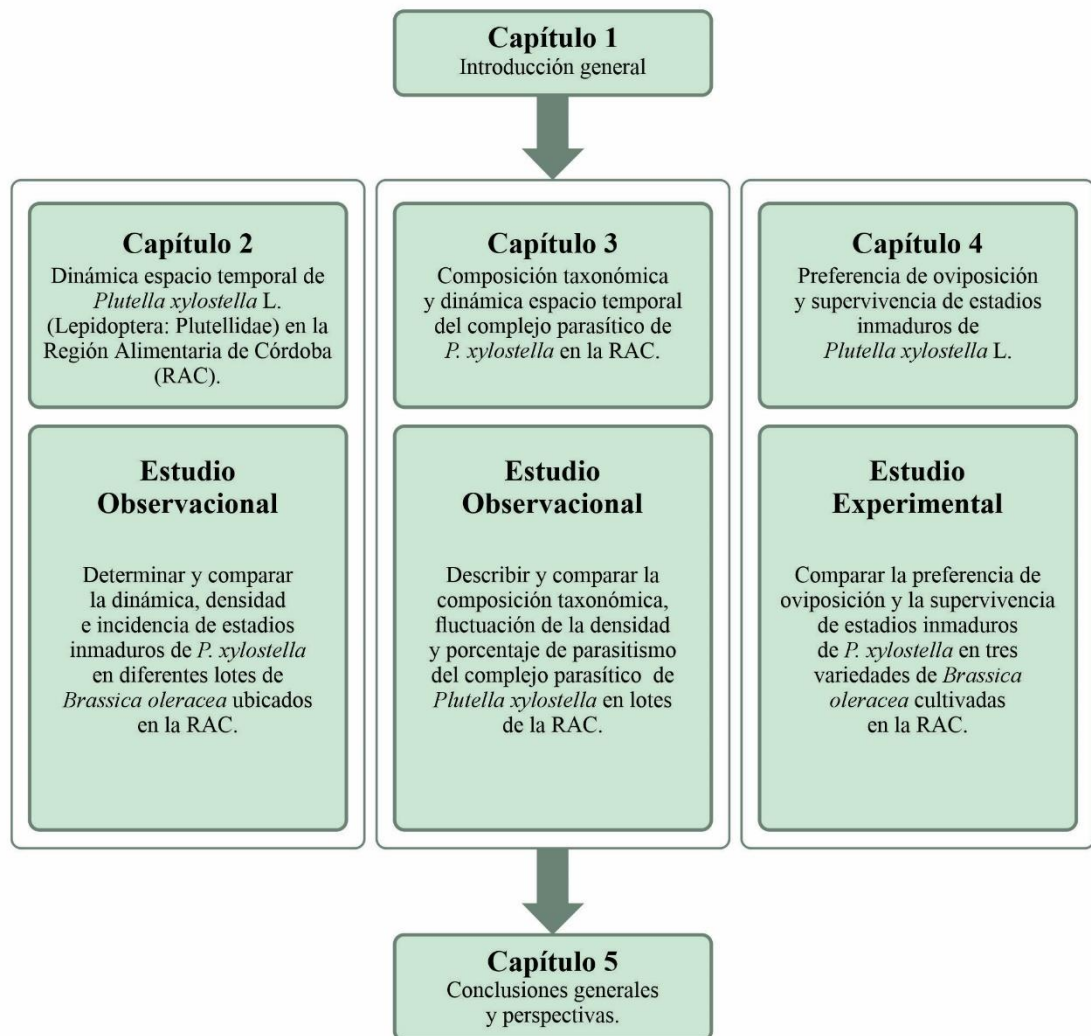


Fig. 1.3 Estructura general de la tesis. Se presentan las temáticas y los objetivos de investigación, así como el tipo de estudio de cada capítulo correspondiente al cuerpo de la tesis.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Abro, G., Syed, T., Kalhor, A., Sheikh, G., Awan, M., Jessar, R., y Shelton, A. (2013). Insecticides for control of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in Pakistan and factors that affect their toxicity. *Crop Protection*, 52, 91–96. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2013.05.017>
- Agboyi, L., Ketoh, G., Douro, O., Martin, T., Glitho, I., y Tamó, M. (2020). Improving the efficiency of *Beauveria bassiana* applications for sustainable management of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in West Africa. *Biological Control*, 144, 1-9.
- Ahmad, T., y Ansari, M. (2010). Studies on seasonal abundance of diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) On cauliflower crop. *Journal of Plant Protection Research*, 50(3), 280–287. <https://doi.org/10.2478/v10045-010-0049-6>
- Alizadeh, M., Rassouljan, G., Karimzadeh, J., Hosseini, V., y Farazmand, H. (2011). Biological study of *Plutella xylostella* (L.) (Lep: Plutellidae) and It's solitary endoparasitoid, *Cotesia vestalis* (Haliday) (Hym. Braconidae) under Laboratory conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 14(24), 1090–1099.
- Alonso, A., Finegan, B., Brenes, C., Günter, S., y Palomeque, X. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador. *Caldasia*, 39(1), 140–156. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.64324>
- Ang, G., Zalucki, M., y Furlong, M. (2016). Temporal changes in olfactory and oviposition responses of the diamondback moth to herbivore-induced host plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 160(1), 28–39. <https://doi.org/10.1111/eea.12458>
- Annecke, D., y Moran, V. (1982). *Insects and mites of cultivated plants in South Africa*. Durban: Butterworths. 383 p.
- APRODUCO. (2020). *Cinturón verde*. Asociación de Productores Hortícolas de La Provincia de Córdoba. <http://www.aproduco.org.ar/cinturon-verde/>
- Attique, M., Khaliq, A., y Sayyed, A. (2006). Could resistance to insecticides in *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) be overcome by insecticide mixtures? *Journal of Applied Entomology*, 130(2), 122–127. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2006.01035.x>
- Azidah, A., Fitton, M., y Quicke, D. (2000). Identification of the *Diadegma* species

- (Hymenoptera: Ichneumonidae, Campopleginae) attacking the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of Entomological Research*, 90(5), 375–389. <https://doi.org/10.1017/S0007485300000511>
- Bach, C., y Tabashnik, B. (1990). Effects of nonhost plant neighbors on population densities and parasitism rates of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Environmental Entomology*, 19(4), 987–994. <https://doi.org/10.1093/ee/19.4.987>
- Bachiega, P., Salgado, J., De Carvalho, J., Ruiz, A., Schwarz, K., Tezotto, T., y Morzelle, M. (2016). Antioxidant and antiproliferative activities in different maturation stages of broccoli (*Brassica oleracea* Italica) biofortified with selenium. *Food Chemistry*, 190, 771–776. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.024>
- Badenes, F., Nault, B., y Shelton, A. (2005). Manipulating the attractiveness and suitability of hosts for diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 98(3), 836–844. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-98.3.836>
- Badenes, F., Shelton, A., y Nault, B. (2004). Evaluating trap crops for diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 97(4), 1365–1372. <https://doi.org/10.1093/jee/97.4.1365>
- Badii, M., y Abreu, J. (2006). Control biológico una forma sustentable de control de plagas. *International Journal of Good Conscience.*, 1(1), 82–89.
- Baguette, M., y Van Dyck, H. (2007). Landscape connectivity and animal behavior: Functional grain as a key determinant for dispersal. *Landscape Ecology*, 22(8), 1117–1129. <https://doi.org/10.1007/s10980-007-9108-4>
- Bahar, M., Soroka, J., Dossall, L., y Olfert, O. (2013). Occurrence of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), and its larval parasitoids across Saskatchewan, Canada. *Biocontrol Science and Technology*, 23(6), 724–729. <https://doi.org/10.1080/09583157.2013.790343>
- Bélisle, M., y Desrochers, A. (2002). Gap-crossing decisions by forest birds: An empirical basis for parameterizing spatially-explicit, individual-based models. *Landscape Ecology*, 17(3), 219–231. <https://doi.org/10.1023/A:1020260326889>
- Belitz, H., Grosch, W., y Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (4th ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Bernal, J. (2014). Biología, Ecología y Etología de Parasitoides. In L. Rodríguez y H. Arredondo (Eds.), *Teoría y aplicación del Control Biológico* (pp. 61–74). Sociedad Mexicana de Control Biológico.
- Bertolaccini, I., Sánchez, D., y Arregui, C. (2010). Incidencia de algunos factores naturales de mortalidad de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), en el área centro-este de Santa Fe, Argentina. *Horticultura Argentina*, 29(68), 20–24.
- Bertolaccini, I., Sánchez, D., Arregui, M., Favaro, J., y Theiler, N. (2011). Mortality of *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Plutellidae) by parasitoids in the Province of Santa Fe, Argentina. *Revista Brasileira de Entomologia*, 55(3), 454–456.
- Bujanos, R., Marín, A., Díaz, L., Gámez, A., Ávila, M., Herrera, R., Dorantes, J., y Gámez, F. (2013). *Manejo integrado de la palomilla dorso de diamante Plutella xylostella (L.) en la región del bajío, México* (27th ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Carvajal, M. (2014). *Caracterización de la trama productiva hortícola del Cinturón Verde de la ciudad de Córdoba: sus transformaciones entre 2002 y 2012*. Tesis de Maestría en Políticas y Gestión del Desarrollo Local-Universidad Nacional de Córdoba-Argentina.
- Castelo, M., y Gatehouse, A. (2001). A survey of insecticide susceptibility in *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) in the Federal District, Brazil. *Crop Protection*, 30(2), 327–332. <https://doi.org/10.1590/s1519-566x2001000200019>
- Charleston, D., y Kfir, R. (2000). The possibility of using indian mustard, *Brassica juncea*, as a trap crop for the diamondback moth, *Plutella xylostella*, in South Africa. *Crop Protection*, 19(7), 455–460. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00037-5](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00037-5)
- Collinge, S., y Forman, R. (1998). A conceptual model of land conversion processes: Predictions and evidence from a microlandscape experiment with grassland insects. *Oikos*, 82(1), 66–84. <https://doi.org/10.2307/3546918>
- Coppi, G. (2002). *Reestructuración productiva de la actividad frutihortícola en el sector noreste del espacio periurbano del área metropolitana Córdoba*. Escuela de Historia. Facultad de Filosofía y Humanidades. Universidad Nacional de Córdoba-Argentina.
- Coulson, S., Hodkinson, I., Webb, N., Mikkola, K., Harrison, J., y Pedgley, D. (2002). Aerial colonization of high Arctic islands by invertebrates: The diamondback moth *Plutella*

- xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a potential indicator species. *Diversity and Distributions*, 8(6), 327–334. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2002.00157.x>
- Couto, I., Fuchs, M., Pereira, F., Munir, M., Scalon, S., Dresch, D., y Mussury, R. (2016). Feeding preference of *Plutella xylostella* for leaves treated with plant extracts. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 88(3), 1781–1789. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150236>
- Criado, S. (2015). El aprendizaje del oficio de horticultor, el acceso a los recursos agro-productivos y la comercialización de productos. Trayectorias laborales y migratorias de los bolivianos en Córdoba. In C. Pizarro (Ed.), *Bolivianos y Bolivianas en la vida cotidiana Cordobesa* (pp. 77–99). EDUCC: Córdoba.
- Criado, S. (2020). *Había agüita... y nos quedamos a pelear la vida. Estrategias de vida de Productores Hortícolas. Chacra de la Merced*. Tesis Doctoral en Estudios Sociales Agrarios. Centro de Estudios Avanzados. Facultad de Ciencias Sociales. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba-Argentina.
- Curis, M., Bertolaccini, I., Lutz, A., y Favaro, J. (2019). Estado del MIP de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) en Argentina. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 18(2), 7–18. <https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.8780>
- Dale, V., Pearson, S., Offerman, H., y O’Neill, R. (1994). Relating patterns of Land-Use Change to faunal biodiversity in the Central Amazon. *Conservation Biology*, 8(4), 1027–1036.
- De la Peña, E. (2009). Efectos de la biota edáfica en las interacciones planta-insecto a nivel foliar. *Ecosistemas*, 18(2), 64–78. <https://doi.org/10.7818/re.2014.18-2.00>
- Eigenbrode, S., Espelie, K., y Shelton, A. (1991). Behavior of neonate diamondback moth larvae [*Plutella xylostella* (L.)] on leaves and on extracted leaf waxes of resistant and susceptible cabbages. *Journal of Chemical Ecology*, 17(8), 1691–1704. <https://doi.org/10.1007/BF00984697>
- Eilenberg, J., Hajek, A., y Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46, 387–400. <https://doi.org/10.1023/A>
- Endersby, N., y Ridland, P. (2004). *The management of diamondback moth and other crucifer pests. Proceedings of the Fourth International Workshop, Melbourne, Australia*.
- FAOSTAT. (2020). *Estadísticas de producción por cultivos*.

<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

- Fernández, J. (2012). *La producción de hortalizas en Argentina. Gerencia de calidad y tecnología*. Corporación del Mercado Central de Buenos Aires. 29 p.
- Fernández, M., Fernández, A., Lozano, M., Ayuso, M., y González, D. (2012). Identification, quantification and comparison of the principal bioactive compounds and external quality parameters of two broccoli cultivars. *Journal of Functional Foods*, 4(2), 465–473. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.02.005>
- Fernández, S., y Álvarez, C. (1988). Biología de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) polilla del repollo (*Brassica oleraceae* L.) en condiciones de laboratorio. *Agronomía Tropical*, 38, 1–9.
- Fu, X., Xing, Z., Liu, Z., Ali, A., y Wu, K. (2014). Migration of diamondback moth, *Plutella xylostella*, across the Bohai Sea in northern China. *Crop Protection*, 64, 143–149. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2014.06.021>
- Furlong, M., Ju, K., Su, P., Chol, J., Chang, R., y Zalucki, M. (2008). Integration of endemic natural enemies and *Bacillus thuringiensis* to manage insect pests of *Brassica* crops in North Korea. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 125, 223–238. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.01.003>
- Furlong, M., Wright, D., y Dossdall, L. (2013). Diamondback moth ecology and management: Problems, progress, and prospects. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 517–541. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605>
- Gatehouse, J. (2002). Plant resistance towards insect herbivores: a dynamic interaction. *New Phytologist*, 156, 145–169. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00519.x>
- Giobellina, B. (2017). *El cinturón verde de Córdoba. Hacia un plan integral para la preservación, recuperación y defensa del área periurbana de producción de alimentos*. O-AUPA - Observatorio de Agricultura Urbana, Periurbana y Agroecología - INTA AER Córdoba. 36 p.
- Giobellina, B., Marinelli, M., Lobos, D., Eandi, M., Bisio, C., Butinof, M., Narmona, L., y Romero, M. (2022). *Producción frutihortícola en la Región Alimentaria de Córdoba: Caracterización y mapeo 2018-2020* (1a ed). INTA Ediciones. Observatorio de Agricultura Urbana, Periurbana y Agroecología. Agencia de Extensión Rural Córdoba. 186 p.

- Grzywacz, D., Rossbach, A., Rauf, A., Russell, D., Srinivasan, R., y Shelton, A. (2010). Current control methods for diamondback moth and other brassica insect pests and the prospects for improved management with lepidopteran-resistant *Bt* vegetable brassicas in Asia and Africa. *Crop Protection*, 29(1), 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.08.009>
- Guilloux, T., Monnerat, R., Castelo, M., Kirk, A., y Bordat, D. (2003). Population dynamics of *Plutella xylostella* (Lep., Yponomeutidae) and its parasitoids in the region of Brasilia. *Journal of Applied Entomology*, 127(5), 288–292. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2003.00746.x>
- Gustafson, E. (1998). Quantifying Landscape Spatial Pattern: What is the State of the Art? *Ecosystems*, 1, 143–156.
- Hamilton, A., Endersby, N., Ridland, P., Zhang, J., y Neal, M. (2005). Effects of cultivar on oviposition preference, larval feeding and development time of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), on some *Brassica oleracea* vegetables in Victoria. *Australian Journal of Entomology*, 44(3), 284–287. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2005.00468.x>
- Harcourt, D. (1986). Population dynamics of the diamondback moth in southern Ontario. *Proceedings of the First International Workshop on Diamondback Moth Management. Shanhua-Taiwan*, 3–15.
- Hasanshahi, G., Abbasipour, H., Jahan, F., Askarianzadeh, A., Karimi, J., y Rahimi, A. (2014). Natural parasitism of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lep: Plutellidae) by a larval parasitoid wasp, *Diadegma anurum* on different cauliflower cultivars. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47(4), 456–463. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.812285>
- Hasanshahi, G., Karimi, J., Jahan, F., Abbasipour, H., Askarianzade, A., y Rahimi, A. (2014). Bottom-up and top-down effects in a tritrophic system: The population fluctuations of *Plutella xylostella* and its parasitoid, *Oomyzus sokolowskii* on the cauliflower cultivars in field conditions. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47(6), 681–689. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.818798>
- Hinsley, S. (2000). The costs of multiple patch use by birds. *Landscape Ecology*, 15(8), 765–775. <https://doi.org/10.1023/A:1008149403852>

- Hooks, C., y Johnson, M. (2001). Broccoli growth parameters and level of head infestations in simple and mixed plantings: Impact of increased flora diversification. *Annals of Applied Biology*, 138(3), 269–280.
- Hooks, C., y Johnson, M. (2003). Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. *Crop Protection*, 22(2), 223–238. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(02\)00172-2](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00172-2)
- Horn, M., Rodrigues, K., y Anzótegui, L. (2011). Primeras evidencias de interacción insecto-planta en el neógeno del noroeste de la Argentina. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 14(1), 87–92. <https://doi.org/10.4072/rbp.2011.1.09>
- INDEC. (2020). *Censo Nacional Agropecuario 2018. Resultados preliminares agricultura*. https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_preliminares_agricultura.pdf
- Jafary, M., Razmjou, J., Nouri, G., Naseri, B., Hassanpour, M., & Leppla, N. (2019). Life table parameters and oviposition preference of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on six Brassicaceous crop plants. *Journal of Economic Entomology*, 112(2), 932–938. <https://doi.org/10.1093/jee/toy384>
- Jankowska, B., y Wiech, K. (2006). The composition and role of parasitoids in reducing population densities of diamondback moth *Plutella xylostella* L. on different cabbage vegetables. *Journal of Plant Protection Research*, 46(3), 275–284.
- Kakisaki, T. (2016). Glucosinolate biosynthesis and functional roles. In G. Arimura y M. Maffei (Eds.), *Plant specialized metabolism. Genomics, Biochemistry, and Biological functions* (1st ed., pp. 157–184). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315370453>
- Kfir, R. (2011). Efficacy of *Plutella xylostella* parasitoids in South Africa and their use in biological control - a review. In R. Srinivasan, A. Shelton, y H. Collins (Eds.), *The Sixth International Workshop on Management of the Diamondback Moth and other Crucifer Insect Pests* (pp. 87–92). AVRDC – The World Vegetable Center ▪ Cornell University ▪ Kasetsart University.
- Kobori, Y., y Amano, H. (2003). Effect of rainfall on a population of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Applied Entomology and Zoology*, 38(2), 249–253. <https://doi.org/10.1303/aez.2003.249>

- Kogan, M., y Shenk, M. (2002). Conceptualización del manejo integrado de plagas en escalas espaciales y niveles de integración más amplios. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*, 65, 34–42.
- Kruger, M., Van Rensburg, J., y Van den Berg, J. (2009). Perspective on the development of stem borer resistance to Bt maize and refuge compliance at the Vaalharts irrigation scheme in South Africa. *Crop Protection*, 28(8), 684–689.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.04.001>
- Lamb, R. (1989). Entomology of oilseed *Brassica* crops. *Annual Review of Entomology*, 34, 211–229.
- Lanfranconi, L., Tuda, E., Buteler, M., Fontán, H., Berreta, R., y Robledo, C. (1987). *Situación de contexto del area central bajo riego de la provincia de Córdoba*. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Manfredi.
- Lim, G. (1986). Biological control of diamondback moth. *Proceedings of the First International Workshop on Diamondback Moth Management. Shanhua, Taiwan*, 159–171.
- Manfrino, R., Gutierrez, A., y López, C. (2018). First reports of *Zoophthora radicans* (Entomophthoraceae) and *Metarhizium rileyi* (Clavicipitaceae) as pathogens of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(3), 619–624. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2360>
- Marchioro, C., y Foerster, L. (2011). Development and survival of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a function of temperature: Effect on the number of generations in tropical and subtropical regions. *Neotropical Entomology*, 40(5), 533–541.
- Mari, N., y Pons, D. (2015). La observación remota y sus aplicaciones a la planificación del territorio urbano-rural. In B. Giobellina y M. Quinteros (Eds.), *Perspectivas de la Agricultura Urbana y Periurbana en Córdoba* (pp. 29–31). INTA Ediciones.
- Mari, N. (2017). Clasificación de coberturas y usos de suelo para el área de interfase urbano-rural de Córdoba. In B. Giobellina (Ed.), *El cinturón verde de Córdoba. Hacia un plan integral para la preservación, recuperación y defensa del área periurbana de producción de alimentos*. (p. 29). O-AUPA - Observatorio de Agricultura Urbana, Periurbana y Agroecología - INTA AER Córdoba.

- Mari, N. (2018). Mapeo y caracterización del Cinturón Verde. Dinámica territorial y los procesos de transformación Urbano-Rural. In B. Giobellina (Ed.), *La alimentación de las ciudades. Transformaciones territoriales y cambio climático en el Cinturón Verde de Córdoba* (pp. 121–144). INTA Ediciones. Observatorio de Agricultura Urbana, Periurbana y Agroecología. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mari, N., Giobellina, B., Benitez, A., y Marinelli, V. (2019). Mapping and characterizing the Green Belt of Córdoba: Land dynamics and the Urban-Rural transformation process. *Journal of Agronomy Research*, 2(1), 29–46. <https://doi.org/10.14302/issn.2639-3166.jar-19-2785>
- Marinelli, M., Mari, N., Pons, D., Giobellina, B., y Scavuzzo, M. (2019). Spatial and Spectral features for Horticulture mapping. *III International Conference on Agro Big Data and Decision Support Systems in Agriculture (BigDSSAgro 2019) Valparaíso, Chile, on September 25-27 at Universidad Técnica Federico Santa María*.
- Marinelli, M. (2020). *Herramientas analíticas de valoración y cuantificación de la producción hortícola basada en sensores remotos*. Tesis de Maestría en Aplicaciones de Información Espacial. Universidad Nacional de Córdoba-Argentina.
- Marinelli, M. (2020). *Productos de uso del suelo. Mapa de cobertura y uso del suelo periurbano de Córdoba 2019-02-19 MCUP Córdoba* (p. 12). Comisión Nacional de Actividades Espaciales CONAE.
- Marinelli, M., Valente, D., Scavuzzo, C., y Petrosillo, I. (2021). Landscape service flow dynamics in the metropolitan area of Córdoba (Argentina). *Journal of Environmental Management*, 280, 111714. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111714>
- Massarolli, A., Gualda, B., Dalla, F., Butnariu, A., Barbosa, M., y Foerster, L. (2019). Evaluation of leaf consumption and determination of economic injury level caused by *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in *Brassica oleracea* var. *acephala* (Brassicales: Brassicaceae). *Journal of Economic Entomology*, 112(4), 1805–1811. <https://doi.org/10.1093/jee/toz113>
- McHugh, J., y Foster, R. (1995). Reduction of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) Infestation in head cabbage by overhead irrigation. *Journal of Economic Entomology*,

- 88(1), 162–168. <https://doi.org/10.1093/jee/88.1.162>
- Meiners, T., y Peri, E. (2013). Chemical ecology of insect parasitoids: essential elements for developing effective biological control programmes. In E. Wajnberg y S. Colazza (Eds.), *Chemical Ecology of Insect Parasitoids* (First Edit). John Wiley y Sons, Ltd, pp.193-224.
- Mena, J., y Hernández, J. (2017). Brasicáceas y perspectivas de control biológico del insecto plaga *Plutella xylostella* (Lepidóptera: Plutellidae) utilizando *Bacillus thuringiensis*. *Mutis*, 7(2), 1–21. <https://doi.org/10.21789/22561498.1245>
- MERCOOP. (2020). *Mercado de abasto Córdoba*. <http://mercadoabastocordoba.com/el-abasto/>
- Moilanen, A., y Nieminen, M. (2002). Simple connectivity measures in spatial ecology. *Ecology*, 83(4), 1131–1145. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083) [1131: SCMISE]2.0.CO;2
- Moreira, L., Teixeira, N., Santos, N., Valim, J., Maurício, R., Guedes, R., Oliveira, M., y Campos, W. (2016). Diamondback moth performance and preference for leaves of *Brassica oleracea* of different ages and strata. *Journal of Applied Entomology*, 140(8), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jen.12294>
- Moreno, D., Carvajal, M., López, C., y García, C. (2006). Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41(5), 1508–1522. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.04.003>
- Muniappan, R., Cruz, J., y Bamba, J. (2004). Trap crops for diamondback moth and other crucifer pests in Guam. *Proceedings of the Third International Workshop on the Management of Diamondback Moth and other Crucifer Pests*, 141–146.
- Munir, S., Dossdall, L., y O 'Donovan, J. (2015). Evolutionary ecology of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) and *Diadegma insulare* (Cresson) in North America: A review. *Annual Research & Review in Biology*, 5(3), 189–206. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2015/11834>
- Murguido, C., y Elizondo, A. (2007). El Manejo Integrado de Plagas de Insectos en Cuba. *Fitosanidad*, 11(3), 23–28.
- Mustata, G. (1992). Role of parasitoid complex in limiting the population of diamondback moth in Moldavia, Romania. *Proceedings of the Second International Workshop Shanhua*,

- Taiwan, 203–212.
- Niu, Y., Li, X., Li, P., y Liu, T. (2013). Effects of different cruciferous crops on the fitness of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection*, 54, 100–105.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.004>
- Paredes, D., Campos, M., y Cayuela, L. (2013). El control biológico de plagas de artrópodos por conservación: técnicas y estado del arte. *Ecosistemas*, 22(1), 56–61.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-1.10>
- Pérez, T. (1999). La especialización en los insectos fitófagos: Una regla más que una excepción. *Boletín de La Sociedad Entomológica Aragonesa*, 26, 759–776.
- Pither, J., y Taylor, P. (1998). An experimental assesment of landscape connectivity. *OIKOS*, 83(1), 166–174.
- Rahman, M. (2019). *Survival of diamondback moth eggs and neonates: the effects of rainfall*. Thesis for Doctor of Philosophy degree. The University of Queensland-Australia.
- Ravsaheb, G., y Tayde, A. (2022). Efficacy of different insecticides and biopesticides against diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) on cabbage. *The Pharma Innovation Journal*, 11(8), 2033–2035.
- Ríos, L. (2011). ¿Qué son los Parasitoides? *Ciencia*, 20, 20–25.
https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/62_2/PDF/05_QueSonParasitoides.pdf
- Sánchez, C., y Barberis, N. (2013). *Caracterización del territorio Centro de la provincia de Córdoba*. INTA Estación Experimental Agropecuaria Manfredi- Córdoba.
- Sapkota, B., Regmi, R., Tiwari, S., y Thapa, R. (2022). Efficacy of biological and chemical insecticides against diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) on cabbage (*Brassica oleraceae* var. *capitata* L.). *Journal of Agriculture and Forestry University*, 5, 95–101.
- Sarfraz, M., Dossdall, L., y Keddie, B. (2006). Diamondback moth-host plant interactions: Implications for pest management. *Crop Protection*, 25(7), 625–639.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.09.011>
- Sarfraz, M., Dossdall, L., y Keddie, B. (2007). Resistance of some cultivated Brassicaceae to infestations by *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 100(1), 215–224. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17370831>

- Sarfraz, M., Keddie, A., y Dossdall, L. (2005). Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: A review. *Biocontrol Science and Technology*, 15(8), 763–789. <https://doi.org/10.1080/09583150500136956>
- Sarfraz, M., y Keddie, B. (2005). Conserving the efficacy of insecticides against *Plutella xylostella* (L.) (Lep. Plutellidae). *Journal of Applied Entomology*, 129(3), 149–157. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2005.00930.x>
- Sarli, A. (1964). Hortalizas. In L. Parodi (Ed.), *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería* (pp. 939–988). Editorial ACME S.A.C.I.
- Schellhorn, N., Bellati, J., Paull, C., y Maratos, L. (2008). Parasitoid and moth movement from refuge to crop. *Basic and Applied Ecology*, 9(6), 691–700. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2007.12.010>
- Sereda, B., Basson, N., y Marais, P. (1997). Bioassay of insecticide resistance in *Plutella xylostella* (L.) in South Africa. *African Plant Protection*, 3(2), 67–72.
- Shakeel, M., Farooq, M., Nasim, W., Akram, W., Ahmad, F., Jaleel, W., Zhu, X., Yin, H., Li, S., Fahad, S., Hussain, S., Chauhan, B., y Jin, F. (2017). Environment polluting conventional chemical control compared to an environmentally friendly IPM approach for control of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in China: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(17), 14537–14550. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8996-3>
- Sherbrooke, S. (2019). *Evaluation of trap cropping for the control of diamondback moth*. Thesis for Master degree. Department of Entomology and Insect Science-The University of Arizona, 55 p.
- Sithole, R., Chinwada, P., y Löhr, B. (2018). Effects of host larval stage preferences and diet on life history traits of *Diadegma moliplia*, an African parasitoid of the diamondback moth. *Biocontrol Science and Technology*, 28(2), 172–184. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1434614>
- Srinivasan, R., Sotelo, P., Zalucki, M., y Shelton, A. (2021). *Proceedings, VIII international conference on management of the diamondback moth and other crucifer insect pests*. World Vegetable Center, Taiwan. 195 p.
- Srinivasan, R., Zalucki, M., Shelton, A., Kumar, A., y Chandrashechara, K. (2017). *Proceedings*

- of the VII international workshop on management of the diamondback moth and other crucifer insect pests. *The Mysore Journal of Agricultural Sciences*, 51, 1–218.
- Tabashnik, B. (1994). Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology*, 39(1), 47–79. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.39.1.47>
- Tabashnik, B., y Mau, R. (1986). Suppression of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) oviposition by overhead irrigation. *Journal of Economic Entomology*, 79(1), 189–191. <https://doi.org/10.1093/jee/79.1.189>
- Tabashnik, B., Van Rensburg, J., y Carrière, Y. (2009). Field-evolved insect resistance to *Bt* crops: Definition, theory, and data. *Journal of Economic Entomology*, 102(6), 2011–2025. <https://doi.org/10.1603/029.102.0601>
- Talekar, N., y Griggs, T. (1986). *Proceedings of the First International Workshop on diamondback moth management. Shanhua, Taiwan*. The Asian Vegetable Research and Development Center.
- Talekar, N., Liu, S., Chen, C., y Yiin, Y. (1994). Characteristics of oviposition of diamondback moth (Lepidoptera: Yponomeutidae) on cabbage. *Zoological Studies*, 33(1), 72–77.
- Talekar, N., y Shelton, A. (1993). Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annual Review of Entomology*, 38(92), 275–301. <https://doi.org/10.1136/bmj.1.5851.492-a>
- Talekar, N., y Yang, J. (1991). Characteristic of parasitism of diamondback moth by two larval parasites. *Entomophaga*, 36, 95–104.
- Taylor, P., Fahrig, L., y With, K. (2007). Landscape connectivity: a return to the basics. In K. Crooks y M. Sanjayan (Eds.), *Connectivity Conservation* (pp. 29–43). Cambridge.
- Thakur, A., Kumar, V., Kumar, A., Kumar, A., Prakash, O., y Goyal, R. (2022). Biology of *Plutella xylostella* Linn. On cabbage leaf under laboratory condition. *The Pharma Innovation Journal 2022*, 11(9), 1413–1416.
- Tischendorf, L., y Fahrig, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 90(1), 7–19. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0706.2000.900102.x/full>
- Vázquez, J., Racagni, T., Oddone, H., Capitanelli, R., López, A., Sosa, D., Sáez, M., Bücher, E., Abalos, J., Bertrán, M., Galera, F., Müller, N., Berzal, M., Nores, M., Herrera, M., y

- Barrera, J. (1979). *Geografía física de la provincia de Córdoba*. Editorial Boldt-Córdoba.
- Verkerk, R., y Wright, D. (1996). Multitrophic interactions and management of the diamondback moth: a review. *Bulletin of Entomological Research*, 86(03), 205–216. <https://doi.org/10.1017/S0007485300052482>
- Wainwright, C., Jenkins, S., Wilson, D., Elliott, M., Jukes, A., y Collier, R. (2020). Phenology of the diamondback moth (*Plutella xylostella*) in the UK and provision of decision support for *Brassica* growers. *Insects*, 11(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/insects11020118>
- Wakisaka, S., Tsukuda, R., y Nakasuji, F. (1992). Effects of natural enemies, rainfall, temperature and host plants on survival and reproduction of the diamondback moth and other crucifer pests. In N. Talekar (Ed.), *Diamondback moth and other crucifer pests, proceedings of the second international Workshop Tainan, Taiwan* (pp. 15–26). Asian Vegetable Research and Development Center.
- Walgenbach, J. (2018). Integrated Pest Management strategies for field-grown tomatoes. In W. Wakil, G. Brust, y T. Perring (Eds.), *Sustainable Management of Arthropod Pests of Tomato* (pp. 323–339). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02023-0>
- Warwick, S., Francis, A., y Mulligan, G. (2013). *Economic value of the Brassicaceae: Crops and wild germplasm*. Canadian Biodiversity Information Facility. <http://www.cbif.gc.ca/eng/species-bank/brassicaceae-of-canada/id=1370403267260#economic>
- Zalucki, M., Shabbir, A., Silva, R., Adamson, D., Shu-Sheng, L., y Furlong, M. (2012). Estimating the economic cost of one of the world’s major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): Just how long is a piece of string? *Journal of Economic Entomology*, 105(4), 1115–1129. <https://doi.org/10.1603/ec12107>
- Zhao, H., y You, M. (2001). Advances in research on the studies on the insecticide resistance of diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) and its management. *Entomological Journal of East China*, 10(1), 82–88.
- Zhao, J., Collins, H., Li, Y., Mau, R., Thompson, M., Hertlein, M., Andaloro, J., Boykin, R., y Shelton, A. (2006). Monitoring of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to Spinosad, Indoxacarb, and Emamectin Benzoate. *Journal of Economic Entomology*, 99(1), 176–181. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2006\)099\[0176:MODMLP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2006)099[0176:MODMLP]2.0.CO;2)

Zhou, L., Huang, J., y Xu, H. (2011). Monitoring resistance of field populations of diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) to five insecticides in South China: A ten-year case study. *Crop Protection*, 30(3), 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.10.006>

CAPÍTULO 2

DINÁMICA ESPACIO TEMPORAL DE *Plutella xylostella* L. (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) EN LA REGIÓN ALIMENTARIA DE CÓRDOBA

INTRODUCCIÓN

El incremento de la presión económica y de la demanda de alimentos llevó a los agricultores a utilizar más pesticidas y a maximizar el uso de la tierra, la rotación de cultivos se redujo a unas pocas especies, lo cual provocó varios problemas entre ellos la proliferación de plagas (Rusch *et al.*, 2010). La polilla dorso de diamante (PDD) (*Plutella xylostella*) es la plaga más importante y destructiva de las Brassicaceae (Guilloux *et al.*, 2003; Bertolaccini *et al.*, 2010, 2011; Niu *et al.*, 2013; Fu *et al.*, 2014). Las razones de su continuo éxito como plaga son varias, incluyendo la falta de enemigos naturales, el ciclo de vida relativamente corto, y lo más importante su capacidad para hacerse resistente a una amplia gama de insecticidas (Lietti *et al.*, 2020; Mo *et al.*, 2003). La PDD ó polilla de las coles aumentó su estatus dramáticamente tras la adopción generalizada de insecticidas de amplio espectro y, en muchos casos, la ausencia de enemigos naturales eficaces (Gurr *et al.*, 2018). Para reducir las pérdidas de rendimiento causadas por *P. xylostella*, los agricultores utilizan rutinariamente el control químico debido principalmente a la disponibilidad de insecticidas y a la falta de alternativas fiables (Espinoza y Grilli, 2019). En algunos casos, este tipo de control ha demostrado ser ineficaz, ya que incluso 20 aplicaciones de insecticidas por ciclo de cultivo no reducen las pérdidas (Pérez *et al.*, 2000), con los consiguientes efectos negativos sobre los costos de producción, el ambiente y las personas (Bertolaccini *et al.*, 2010), que hacen prever que el control de plagas por medios químicos no es sostenible ni económica ni ecológicamente (Chaplin *et al.*, 2011).

Colonización de la plaga en lotes de *Brassica*

Las plagas de los cultivos estacionales y anuales son oportunistas, y empiezan con una infestación inicial que siempre es externa y que ocurre cuando los sitios de oviposición o refugio se vuelven escasos y se reduce el sustento local, lo cual las obliga a dispersarse (Romero, 2004). *Plutella xylostella* no tiene diapausa, y por lo tanto la inmigración es la causa próxima de los aumentos estacionales de población (Campos *et al.*, 2006). Esta plaga tiene la capacidad de dispersarse grandes distancias en caso de necesidad. Esta dispersión se consigue mediante la migración activa, lo que explica su distribución cosmopolita (Talekar y Shelton, 1993) y las poblaciones aparentemente panmícticas que cubren gran parte del globo (Endersby *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2006). Varios estudios han demostrado la capacidad de *P. xylostella*, de desplazarse distancias superiores a 2000 km utilizando las corrientes de aire (Talekar y Shelton, 1993; Chapman *et al.*, 2002; Schellhorn *et al.*, 2008). En Gran Bretaña, la presencia anual de polillas dorso de diamante se atribuye a la migración de adultos desde el Báltico y el sur de Finlandia a una distancia de más de 3000 km (Talekar y Shelton, 1993). En este mismo contexto se ha reportado que las infestaciones de *P. xylostella* en el oeste de Canadá se originan principalmente en el sur de EE.UU. o México cuando los fuertes vientos transportan a los adultos hacia el norte en la primavera (Dosdall *et al.*, 2001). *Plutella xylostella* es capaz de recorrer 800 Km en menos de 48 horas, favorecida por las corrientes de viento (Coulson *et al.*, 2002). Para los inmigrantes herbívoros como *P. xylostella*, la presencia de las plantas hospederas en este caso brasicáceas (Coulson *et al.*, 2002) así como un rango de temperatura entre 10 °C y 32,5 °C (Marchioro y Foerster, 2016), son un requisito previo para su establecimiento.

El aumento poblacional de una plaga en el campo se evalúa mediante conteos. Los resultados de los conteos se expresan en función de la incidencia y la densidad del organismo en estudio. Estos dos términos: incidencia y densidad muchas veces son utilizados indistintamente, aunque en la práctica no son sinónimos. La incidencia hace referencia al porcentaje de plantas con presencia de una plaga en un determinado órgano respecto al número total de plantas evaluadas (Armengot *et al.*, 2020), mientras que la densidad se define como el número de ejemplares de la plaga por unidad de muestreo (Tovar *et al.*, 2007; Bado, 2019).

Múltiples autores han estudiado el comportamiento poblacional de la PDD en condiciones de laboratorio, con especial énfasis en la evaluación de la presencia de parasitoides (Guilloux *et al.*, 2003; Muriel y Grez, 2003; Bertolaccini *et al.*, 2010; 2011; Marchioro y Foerster, 2011; Pérez, 2013). También se han tratado de correlacionar diferentes factores bióticos y abióticos con la densidad de *P. xylostella* (Campos, 2008; Marchioro y Foerster, 2011, 2012, 2016). Los principales estudios sobre la abundancia de inmaduros de *P. xylostella* han sido realizados en colza (*Brassica napus*), repollo blanco (*Brassica oleracea* var. *capitata*) y repollo morado (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) (Bertolaccini *et al.*, 2010; 2011; Lietti *et al.*, 2014; Curis *et al.*, 2019). A escala de finca, la riqueza y abundancia de las especies de insectos depende de las características locales del hábitat, que están determinadas en gran medida por el manejo de los cultivos (Rusch *et al.*, 2010, 2013). La densidad de la PDD está relacionada con factores como el nivel de uso de insecticidas, el manejo de los cultivos entre otros (Ayalew y Ogol, 2006). Las actividades de manejo de los cultivos pueden provocar una reducción de las densidades de la plaga, de manera directa a través de la mortalidad o de la emigración o indirectamente a través de la alteración del hábitat (Thorbeck y Bilde, 2004).

En un estudio realizado por Rusch *et al.* (2013) en *Brassica napus* L., la abundancia de *Meligethes* spp. estuvo determinada por el contexto del paisaje, mientras los daños causados al interior del cultivo dependieron de su manejo (Rusch *et al.*, 2013). De manera similar, esta situación daría lugar a suponer que el crecimiento de la población de *P. xylostella* depende del contexto del paisaje mientras los procesos locales pueden explicar la subsiguiente disminución y extinción de la población (Campos *et al.*, 2006). Típicamente, los migrantes tienen cuerpos más pequeños, alas más grandes y una mayor longevidad adulta en comparación con las formas no migratorias (Campos *et al.*, 2004), y estos rasgos fenotípicos característicos son exhibidos por la PDD criadas en plantas maduras y Brassicaceae silvestres (Muhamad *et al.*, 1994; Campos *et al.*, 2004). Es decir, *P. xylostella* presenta dos formas de dispersión: una al interior del parche de cultivo cuando está sano y otra cuando el cultivo está en cosecha y además las poblaciones de la PDD ya no tienen las condiciones adecuadas para mantenerse y busca migrar a menudo asistida por el viento (Mo *et al.*, 2003).

Comprender los factores determinantes de las interacciones entre insectos y plantas y la dinámica de las poblaciones de plagas es un requisito previo para desarrollar estrategias innovadoras de protección de cultivos y aumentar la sostenibilidad de los agroecosistemas (Rusch *et al.*, 2013). Para esto, es fundamental entender las respuestas comportamentales de los insectos plaga, y sus dinámicas en relación al ambiente en el que se desarrollan (Hunter, 2002). Una de estas respuestas es la variación sincrónica de las dinámicas poblacionales en grandes áreas geográficas (sincronía espacial), una característica común en casi todas las especies incluyendo a los insectos (Liebhold y Kamata, 2000; Peltonen *et al.*, 2002). Definimos la sincronía espacial como los cambios coincidentes en la abundancia durante cierto período de tiempo de poblaciones que se encuentran geográficamente separadas (Liebhold y Kamata, 2000). Estas poblaciones pueden sincronizarse por tres causas: Efectos estocásticos en el ambiente (conocido como “efecto Moran”), interacciones tróficas con especies que están sincronizadas (Liebhold y Kamata, 2000), o el intercambio de individuos entre poblaciones locales por una alta tasa de dispersión (Saitoh, 2020). La falta de sincronización estaría sugiriendo que las poblaciones estarían operando independientemente una de otra debido a procesos denso dependientes.

***Plutella xylostella* en la Región Alimentaria de Córdoba (RAC)**

En Argentina, *P. xylostella* es una plaga que provoca daños severos en los cultivos de brasicáceas (Curis *et al.*, 2019). En el caso particular de la RAC, la situación se repite. La especie presenta estacionalidad y sus máximas densidades se alcanzan durante la primavera (Grilli *et al.*, 2015), como resultado del aumento de su tasa de desarrollo y fecundidad (Lietti *et al.*, 2020). Los estudios publicados hasta el momento sobre la PDD se centran en expresar los parámetros poblacionales en términos de densidad (Muriel y Grez, 2003; Campos *et al.*, 2006; Campos, 2008; Bertolaccini *et al.*, 2010; 2011; Marchioro y Foerster, 2016;). No se han encontrado registros publicados que evalúen la incidencia de la plaga en condiciones de campo.

A partir de los antecedentes presentados en el marco teórico previo se propone como hipótesis que ***las características ambientales y del paisaje del área periurbana de la ciudad de***

Córdoba, y la capacidad de dispersión de *Plutella xylostella* facilitan la colonización de lotes de *Brassica oleracea* por parte de esta plaga

Las predicciones que acompañan a la presente hipótesis son:

- *Plutella xylostella* estará presente en todos los lotes de brasicáceas estudiados en la RAC
- La densidad de *P. xylostella* será equiprobable independientemente de la ubicación de los lotes

Sobre esta base se propone como objetivo para este capítulo:

Determinar y comparar la dinámica, densidad e incidencia de estadios inmaduros de *P. xylostella* en diferentes lotes de *Brassica oleracea* ubicados en la RAC.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la zona hortícola de la ciudad de Córdoba conocida como la Región Alimentaria de Córdoba (antiguo Cinturón Verde), que forma parte de la región actualmente denominada RAC (Región Agroalimentaria de Córdoba). En la RAC se producen brassicáceas principalmente brócoli y repollo en tres de cada cuatro quintas dedicadas a la producción hortícola (Giobellina *et al.*, 2022). Las quintas producen brassicáceas junto con otros cultivos hortícolas. El manejo general de los diferentes lotes de la zona fue representativo del manejo hortícola que históricamente se ha usado en la RAC, es decir, a campo abierto, con la mayor parte de labores de forma manual y riego superficial por surcos. Como todos los lotes estudiados estaban alrededor de la ciudad de Córdoba, compartían las mismas condiciones climáticas. Estudios previos mostraron que en la RAC las mayores densidades de *P. xylostella* se registraron durante la primavera (Pecorari, 2014). Por este motivo los muestreos fueron realizados durante la primavera de los años 2016, 2017 y 2018.

Monitoreo de las poblaciones de *Plutella xylostella* en el área de estudio

En el año 2016 se colectaron muestras de nueve lotes de cultivo de *Brassica oleracea*; en el 2017, seis lotes y en el año 2018, ocho lotes. Así se muestrearon un total de 23 lotes de *Brassica oleracea* incluidos en la presente tesis doctoral (Fig. 2.1). Los lotes identificados con los números del 1 al 9 correspondieron a los muestreados en el año 2016. Para el año 2017 se identificaron con los números del 10 al 15. Finalmente, para el año 2018, los lotes fueron identificados con los números del 16 al 23. Las muestras fueron tomadas en la segunda semana después de que las plantas fueron colocadas en cada uno de los lotes.

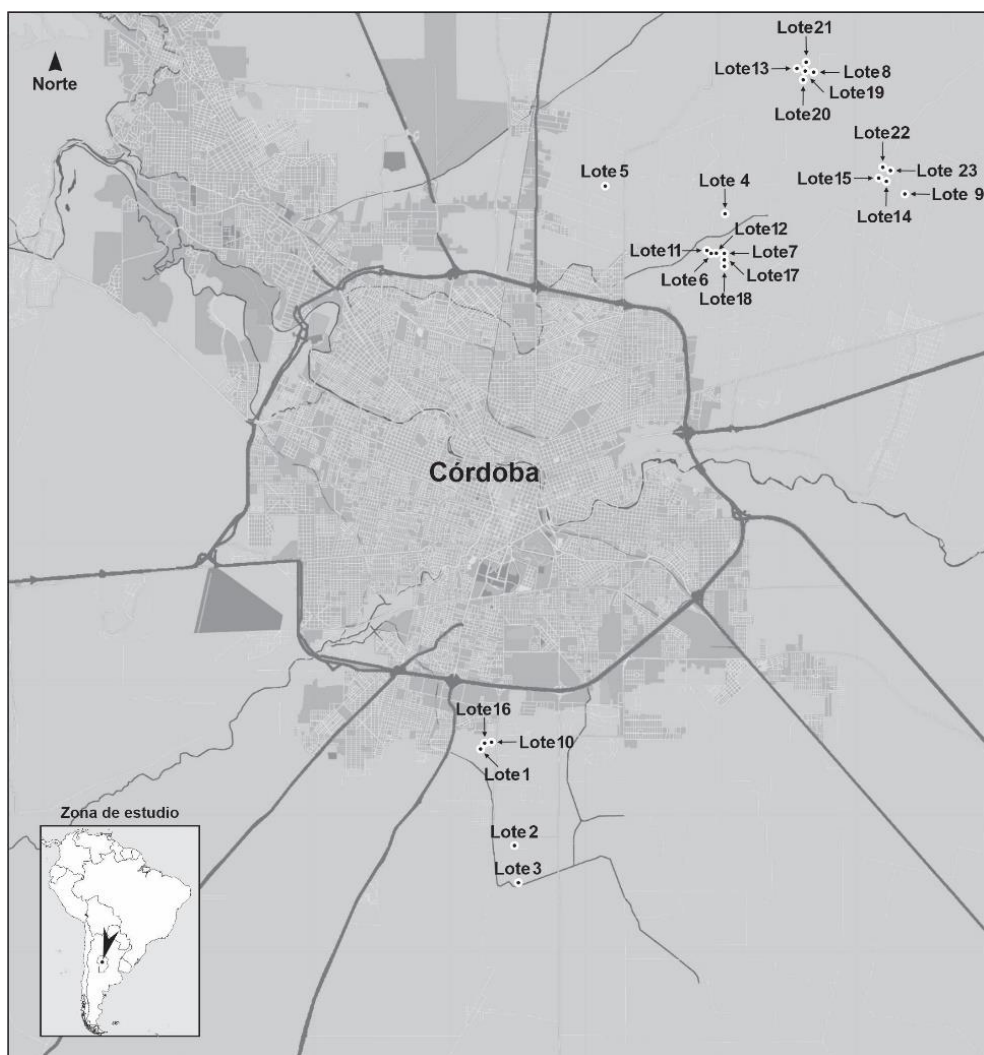


Fig. 2.1 Ubicación de los 23 lotes de *Brassica oleracea* estudiados en la RAC durante la primavera del 2016-2017-2018.

En todos los lotes, los cultivadores realizaron el trasplante a 50 cm entre plantas y 70 cm entre surcos (Fig. 2.2). En cada lote muestreado se seleccionaron 10 plantas al azar de *B. oleracea* donde se realizaron colectas semanales de larvas de segundo a cuarto estadio y pupas de *P. xylostella*, desde la temporada de trasplante hasta la cosecha. El primer estadio no fue colectado ya que, en éste, la larva de *P. xylostella* se encuentra minando el tejido de las hojas

(Fernández y Alvarez, 1988; Talekar y Shelton, 1993; Hasanshahi, *et al.*, 2011; Askarianzadeh, *et al.*, 2014), lo cual dificultó la labor de recolección de este estadio de la plaga.



Fig. 2.2 Distancia de trasplante de *Brassica oleracea*. Segmento A: distancia entre plantas igual a 50 cm. Segmento B: distancia entre filas igual a 70 cm

Las larvas fueron detectadas visualmente y colectadas utilizando pinceles de cerda natural para evitar el daño tanto a los tejidos de la plaga como a los tejidos de las hojas. Se colectaron todas las larvas y pupas de *P. xylostella* presentes en cada planta y se colocaron en frascos individuales identificados con el número de muestra, el lote y la fecha (Fig. 2.3A).

Procesamiento del material colectado

Todas las muestras fueron procesadas en el laboratorio del Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNC, donde cada individuo (larva o pupa) fue colocado en una caja de Petri de 5 cm de diámetro. Cada caja fue etiquetada consignando el lugar de muestreo, el estado inmaduro de *P. xylostella* colectado, el lote y la fecha de recolección (Fig. 2.3B).



Figura 2.3 Muestras de inmaduros de *Plutella xylostella*. (A) Colecta de estados inmaduros de *Plutella xylostella*. (B) Acondicionamiento de las muestras en el laboratorio del CREAN.

En las cajas de Petri que contenían larvas, se colocaron trozos de hojas de brasicáceas para alimentarlas hasta que cambiaron al estado de pupa. Larvas y pupas se mantuvieron a 25 °C con un fotoperiodo de 16:8 horas de luz: oscuridad; fueron revisadas todos los días hasta la emergencia de un adulto de *P. xylostella* o su parasitoide. Los parasitoides se mantuvieron en alcohol al 70%.

Estimación de la incidencia y la densidad

Incidencia de la plaga

Matemáticamente la incidencia se calculó mediante la fórmula adaptada de Ríos y Baca (2006).

$$\%inc = \frac{NPP}{NPE} \times 100$$

Donde:

% inc: Porcentaje de incidencia de la plaga

NPP: Número de plantas con presencia de inmaduros de *P. xylostella*

NPE: Número de plantas evaluadas

Los valores de incidencia de *P. xylostella* se refieren a la relación porcentual entre el número de plantas en las que se detectó la presencia de la plaga respecto a un total de 10 plantas evaluadas en cada lote durante cada colecta semanal. Se estimó la variación del porcentaje de incidencia por lote durante los tres años de muestreo.

Densidad de la plaga

La densidad de la plaga se estimó como el número total de estados inmaduros de *Plutella xylostella* por planta. En cada fecha de muestreo y en cada lote de *Brassica oleracea* se tomaron muestras de 10 plantas desde la etapa de transplante hasta la cosecha a través de recolecciones de frecuencia semanal. Se estimó la variación de la densidad de inmaduros por planta para cada uno de los tres años de muestreo.

Análisis de datos

Los datos tanto para densidad como para incidencia de inmaduros de *P. xylostella* se analizaron utilizando Modelos Lineales Generalizados Mixtos (MLGM). Para la densidad, la variable respuesta fue total de inmaduros colectados/planta, el efecto fijo fue lote y el efecto aleatorio la fecha de muestreo; de manera adicional también se compararon el número de inmaduros colectados por año para lo cual se definió como variable respuesta el total de inmaduros colectados, el efecto fijo fue el año de colecta y también se definió como efecto aleatorio la fecha. Se empleó un modelo de Binomial negativo con una función de enlace logarítmico.

Para la incidencia, la variable respuesta fue el número de plantas con presencia de la plaga en cada lote, el efecto fijo fue lote y el efecto aleatorio fue la fecha de colecta. En el análisis estadístico se utilizó el número de plantas con presencia de inmaduros de la plaga, pero

en las figuras, para una mejor comprensión se presenta el porcentaje de incidencia. En los dos análisis (densidad e incidencia) se hicieron particiones por año cuando fue necesario, y se realizaron también comparaciones entre todos los lotes muestreados. Se utilizó el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2020).

Relación entre densidad de la plaga e incidencia en el lote

Para determinar la relación entre la densidad de la plaga y la incidencia de esta en los lotes estudiados se realizó un análisis de regresión ajustando los datos a diferentes modelos. Se terminó seleccionando un modelo logarítmico como el que ofrecía un mejor ajuste para describir la relación entre las dos variables.

Análisis de sincronía de las poblaciones de *Plutella xylostella* en la RAC

Con el fin de establecer la existencia de algún tipo de dependencia espacial en la variación de la densidad de las poblaciones de *P. xylostella* en lotes de *B. oleracea* se realizó un análisis de sincronía de las poblaciones para todos los lotes muestreados. Un método para cuantificar la sincronía espacial es mediante el gráfico de los coeficientes de correlaciones apareados entre series de tiempo de poblaciones espacialmente separadas, contra las distancias euclidianas que separan a cada par (Buonaccorsi *et al.*, 2001). Para realizar este análisis se utilizó una Función de Covariación No paramétrica (FCN) para explorar como la sincronía disminuye con el aumento de las distancias de separación entre sitios de muestreo (Bjørnstad *et al.*, 1999; Bjørnstad y Falck, 2001). La FCN ajusta una curva diferenciable definida en porciones suavizadas para correlaciones cruzadas apareadas como función de las distancias de separación, produciendo una estimación continua directa de las covarianzas espaciales. Se estimaron intervalos de confianza mediante la técnica de bootstrapping realizando 500 iteraciones (Bjørnstad *et al.*, 1999; Bjørnstad y Falck, 2001; Økland *et al.*, 2005). El análisis se realizó con el software estadístico R (R Core Team, 2019). Finalmente se estimaron correlogramas espaciales para cuantificar la autocorrelación espacial en función de la distancia de separación para el total de inmaduros colectados en cada sitio de muestreo.

RESULTADOS

Análisis exploratorio de la incidencia y densidad de *Plutella xylostella*

Tanto el porcentaje de incidencia como la densidad de inmaduros por planta en los lotes durante los tres años de estudio fue variable (Figs. 2.4, 2.5 y 2.6). En general la incidencia repitió el patrón de la variación de densidad de inmaduros por planta.

Durante el año 2016, las densidades fueron bajas a finales del invierno cuando comenzaron los muestreos para incrementarse durante comienzos de la primavera alcanzando su pico máximo a mediados de la primavera (Fig. 2.4), siguiendo la fenología del cultivo desde su trasplante. Este patrón fue similar en la mayoría de los lotes muestreados, excepto en el lote 1 donde en la primera fecha de muestreo la densidad de inmaduros por planta es casi tan elevada como en el pico máximo de mediados de la primavera (Fig. 2.4). De todos modos, en este lote se observa que las densidades en general son bajas, con un promedio de 0,68 inmaduros por planta.

El porcentaje de incidencia durante este período, repite el patrón de la variación de la densidad (Fig. 2.4), con porcentajes relativamente bajos a finales del invierno que se incrementan a mediados de la primavera, oscilando entre el 20 y el 50 %. Similar a lo observado con la densidad, en este caso también se observaron excepciones. La incidencia en los lotes 4 y 6 inicia con valores elevados a finales del invierno (Fig. 2.4). Este patrón es más evidente en el lote 4 donde desde el primer muestreo se observan incidencias del 100 % que se mantienen aún con bajas densidades de la plaga en el cultivo.

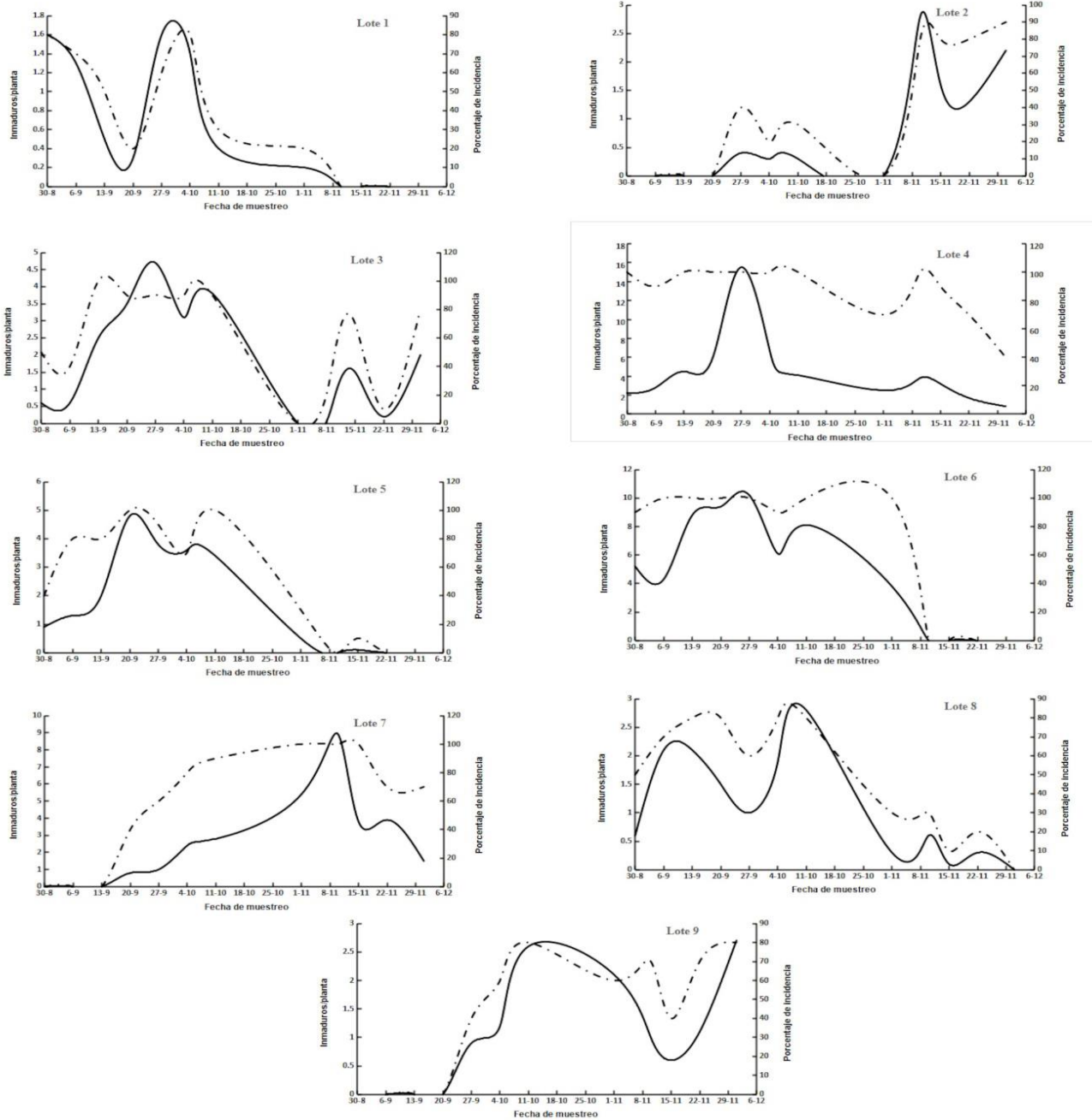


Figura 2.4. Densidad de inmaduros (línea continua) por planta y porcentaje de incidencia (línea discontinua) en lotes de *Brassica oleracea* de la RAC en el año 2016.

Durante el segundo período (2017), la incidencia y la densidad también fueron variables (Fig. 2.5). Los muestreos de inmaduros en este año iniciaron a principios de la primavera, debido a que el trasplante de las brassicáceas inició más tarde. Al igual que durante el primer período de muestreo, la variación del porcentaje de incidencia siguió el patrón de variación de la densidad de inmaduros por planta (Fig. 2.5). Durante este año todos los lotes comenzaron con densidades muy bajas (0 individuos por planta) a inicios de la primavera, para rápidamente incrementarse a los valores máximos de cada lote a mediados de esta estación. Las densidades máximas fueron muy variables entre lotes, con valores promedio que variaron en un rango entre 0.75 a 4.5 inmaduros por planta. La incidencia por su parte también comenzó con valores bajos de 0% de plantas afectadas, aumentando a mediados de la primavera a sus valores máximos en cada lote. En general en todos los lotes el porcentaje máximo de incidencia fue del 100 %, excepto en el lote 10 donde la máxima incidencia no superó el 60 % (Fig. 2.5).

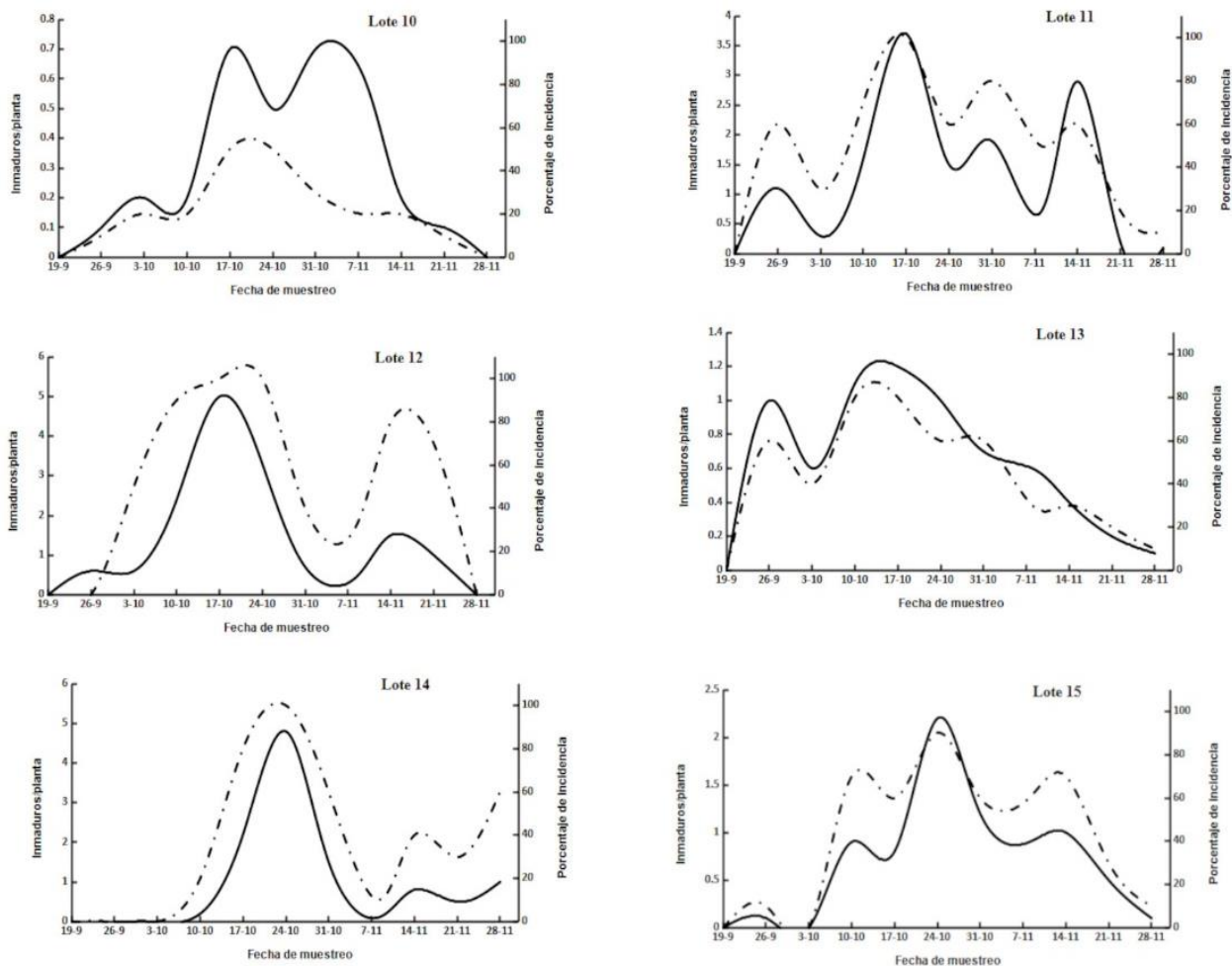


Figura 2.5. Densidad de inmaduros por planta (línea continua) y porcentaje de incidencia (línea discontinua) en lotes de *Brassica oleracea* de la RAC en el año 2017.

En el último año de muestreo, también se observaron incidencias y densidades variables en todos los lotes (Fig. 2.6). En este período los muestreos se realizaron en primavera. A diferencia de los años anteriores, las densidades iniciales en los diferentes lotes fueron variables, con lotes con densidades iniciales de cero inmaduros por planta (lotes 19, 20, 21 y 23) a lotes con elevadas densidades iniciales, aunque también variables. De todos modos, al igual que los años anteriores las máximas densidades ocurrieron a mediados de la primavera (Fig. 2.6). El porcentaje de incidencia por su parte de la misma forma que en los muestreos anteriores repite el patrón de la densidad de inmaduros por planta (Fig. 2.6). Este patrón se repite en la mayoría de los lotes a excepción de los lotes 17 y 18 donde la incidencia de la plaga es del 100 % (Fig. 2.6).

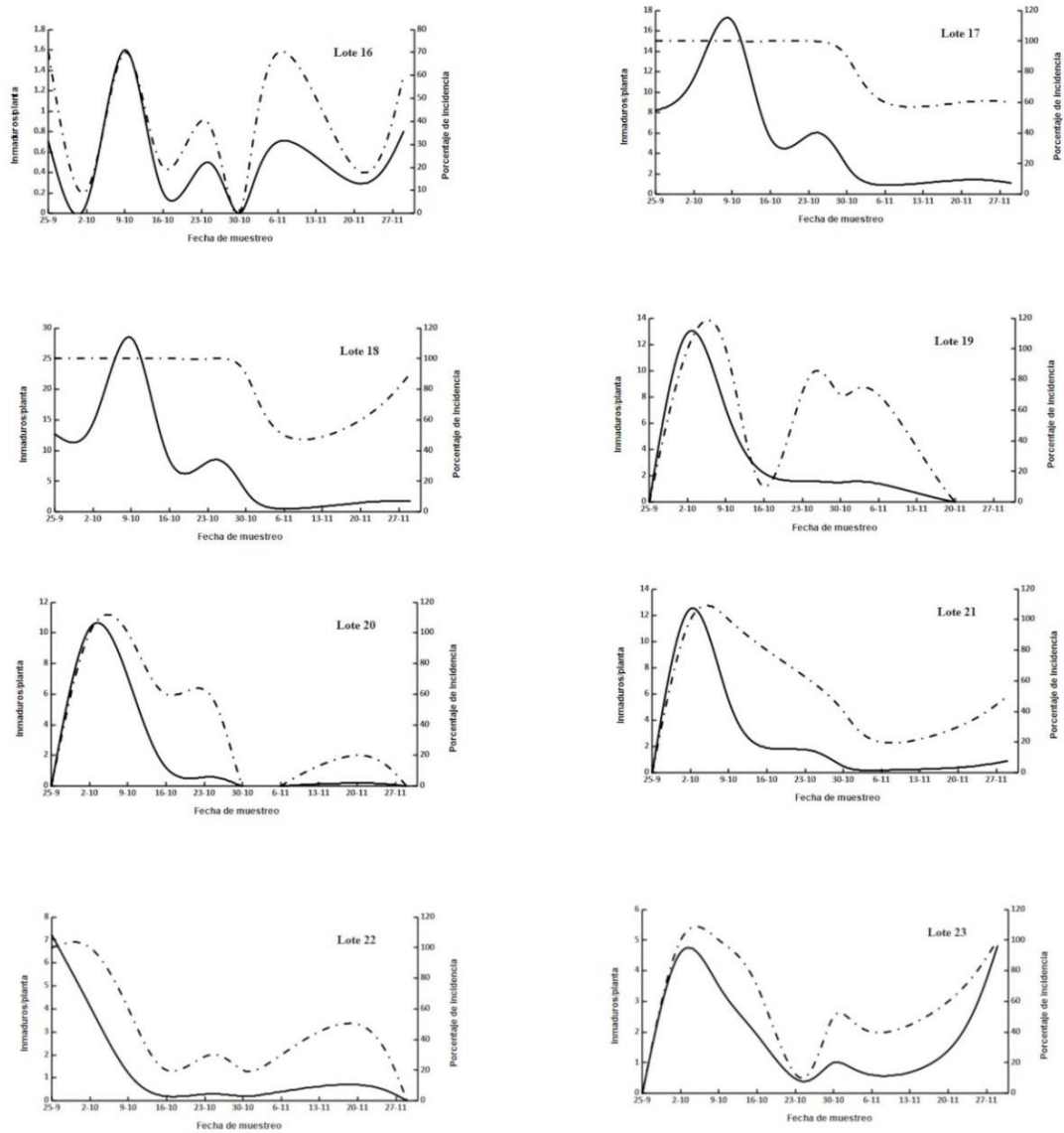


Figura 2.6. Densidad de inmaduros por planta (línea continua) y porcentaje de incidencia (línea discontinua) en lotes de *Brassica oleracea* de la RAC en el año 2018.

En resumen, se pudo observar que, en los tres años de muestreo las máximas densidades de *P. xylostella* ocurrieron a mediados de la primavera y como patrón general se observó que el porcentaje de incidencia repite el patrón de la densidad de inmaduros por planta.

Relación entre la densidad de inmaduros e incidencia

La relación entre la densidad de inmaduros por lote y porcentaje de incidencia ajustó a un modelo logarítmico ($R^2= 0.88$, $p < 0.05$) (Fig. 2.7).

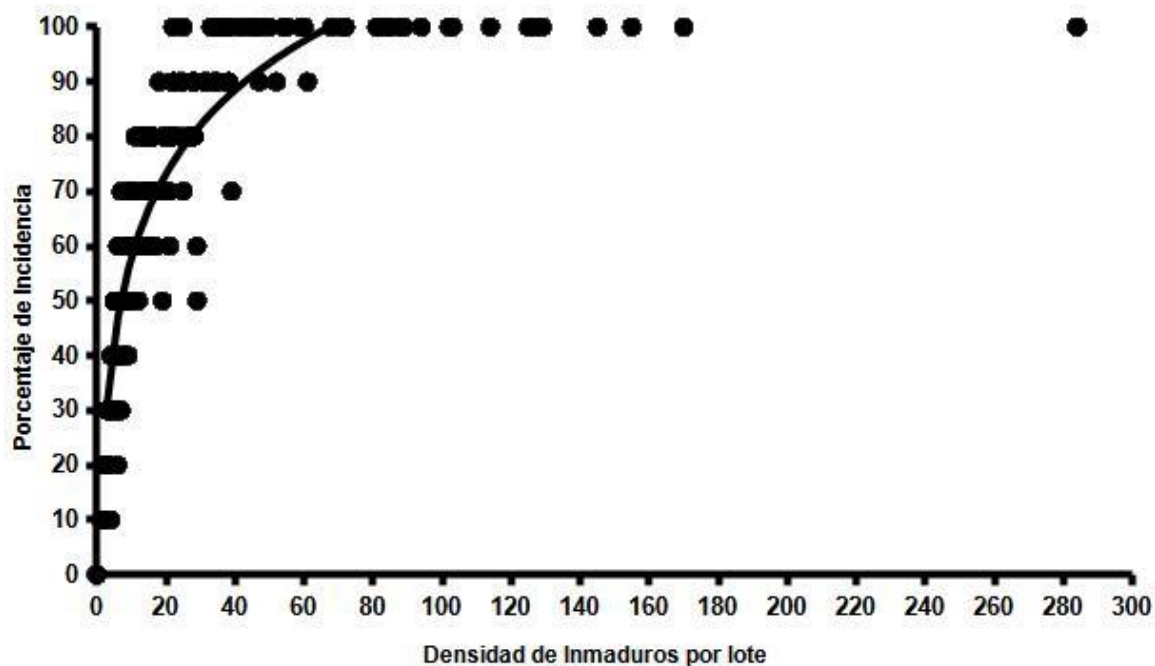


Figura 2.7: Relación entre la densidad de inmaduros y el porcentaje de incidencia.

Densidad de la plaga

La comparación de la densidad promedio de inmaduros entre sitios de muestreo mediante MLGM mostró que independientemente del año hubo diferencias significativas entre las densidades de inmaduros por planta entre lotes (Tablas 2.1 y 2.2).

Tabla 2.1: Efectos Fijos de los MLGM para densidad de inmaduros por planta entre lotes.

Año	g. l.	F	P
2016	8	33,58	<0.0001
2017	5	11.91	<0.0001
2018	7	54,55	<0.0001

Las pruebas a posteriori (Prueba LSD de Fischer) mostraron que para el año 2016 los lotes de muestreo 4 y 6 fueron los que tuvieron mayores densidades de inmaduros por planta (Tabla 2.3 y Fig. 2.8). El lote con mayor densidad para este período fue el lote 6 mientras que el que presentó la menor densidad de inmaduros por planta fue el lote 1 (Fig. 2.8, tabla 2.3).

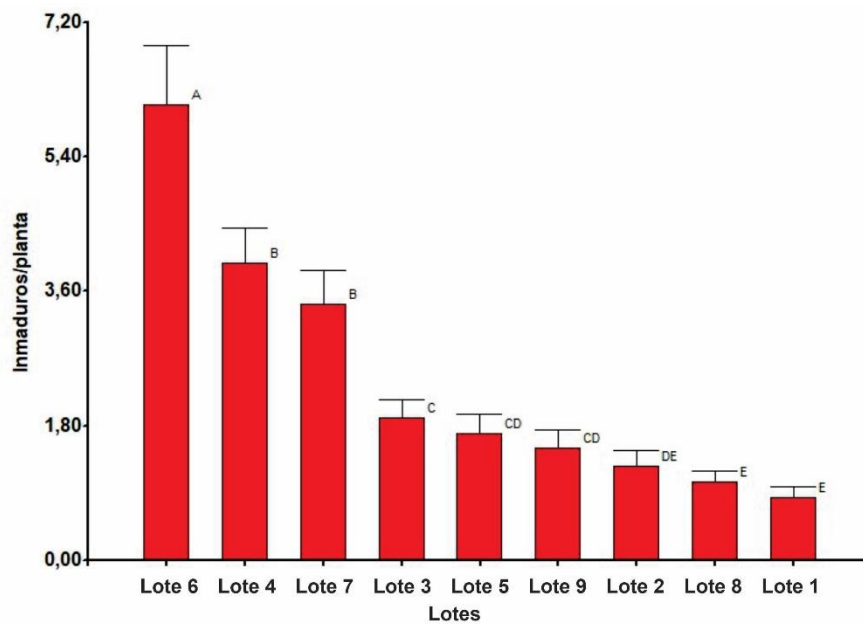


Fig. 2.8. Densidad promedio de estados inmaduros de *Plutella xylostella* en los lotes de la RAC para el año 2016.

Tabla 2.2. Comparación de a pares LSD de Fisher para densidades de inmaduros entre lotes para el año 2016. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Lote	Media	E.E.	
Lote 6	6,09	0,8	A
Lote 4	3,98	0,47	B
Lote 7	3,43	0,46	B
Lote 3	1,90	0,25	C
Lote 5	1,70	0,25	C D
Lote 9	1,51	0,23	C D
Lote 2	1,26	0,21	D E
Lote 8	1,05	0,16	E
Lote 1	0,58	0,15	E

La comparación de la densidad de inmaduros por planta (MLGM) para el año 2017 también mostró diferencias significativas entre los lotes (Tabla 2.1). La comparación entre lotes para este año muestra que los lotes 12 y 11 son los que mayores densidades presentan, siendo el lote 10 el de menor densidad de inmaduros por planta (Tabla 2.3, Fig. 2.9).

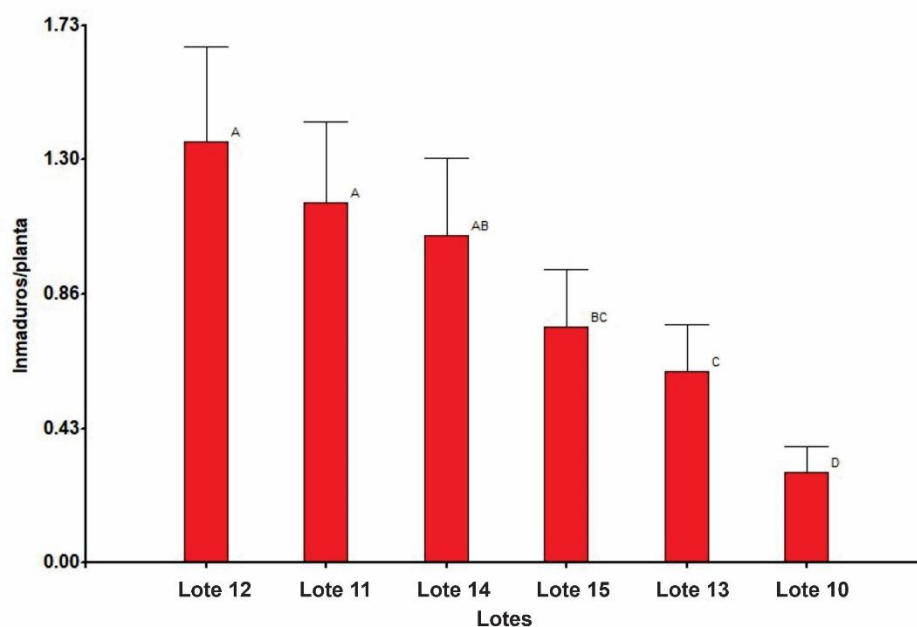


Fig. 2.9 Densidad promedio de estados inmaduros de *Plutella xylostella* en los lotes de la RAC para el año 2017.

Tabla 2.3. Comparación de a pares LSD de Fisher para densidades de inmaduros entre lotes para el año 2017. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Lote	Media	E.E.	Significación		
Lote 12	1.35	0.31	A		
Lote 11	1.16	0.26	A		
Lote 14	1.05	0.25	A	B	
Lote 15	0.76	0.19		B	C
Lote 13	0.62	0.15			C
Lote 10	0.29	0.08			D

Finalmente, durante el año 2018 el MLGM también mostró diferencias estadísticamente significativas en las densidades de inmaduros por plantas entre los lotes de muestreo (Tabla 2.1). La prueba LSD (Tabla 2.4, Fig. 2.10) destaca que el lote 18 fue el que mayor densidad promedio

de inmaduros por planta tuvo con 5,16 individuos por planta mientras que el lote 16 fue el que menor densidad de inmaduros promedio presentó (0,37).

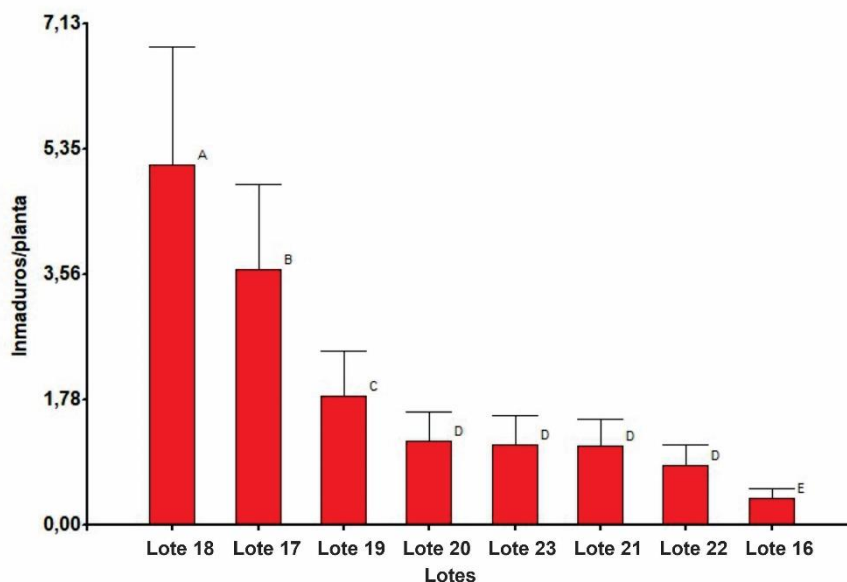


Fig. 2.10 Densidad promedio de estados inmaduros de *Plutella xylostella* en los lotes de la RAC para el año 2018.

Tabla 2.4. Comparación de a pares LSD de Fisher para densidades de inmaduros entre lotes para el año 2018. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Lote	Media	E.E.	
Lote 18	5,12	1,69	A
Lote 17	3,63	1,21	B
Lote 19	1,84	0,64	C
Lote 20	1,19	0,42	D
Lote 23	1,15	0,40	D
Lote 21	1,12	0,40	D
Lote 22	0,84	0,29	D
Lote 16	0,37	0,14	E

Al comparar mediante el Modelo Lineal Generalizado Mixto la densidad promedio entre los años muestreados se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los años ($F= 8.33$, g.l. = 2; $p < 0.0003$). Las comparaciones a posteriori (LSD) (Tabla 2.5) mostraron que el año 2017 fue el que resultó significativamente diferente.

Tabla 2.5. Comparación de a pares LSD de Fisher para densidades de inmaduros entre años.
Letras diferentes indican diferencias significativas.

Año	Media	E.E.	
2018	26.32	6.32	A
2016	22.43	4.54	A
2017	7.67	1.81	<u>B</u>

Incidencia de la plaga

El Modelo Lineal Generalizado Mixto mostró que hubo diferencias significativas en la incidencia entre lotes en los tres años estudiados (Tabla 2.6). Las comparaciones a posteriori (LSD Fisher) mostraron entre que lotes se observaron diferencias.

Tabla 2.6: Efectos Fijos de los MLGM para la incidencia de inmaduros por lote entre años

Año	g. l.	F	p
2016	8	6,07	0,0001
2017	5	3,64	0,0064
2018	7	3,55	0,0032

En el año 2016 se observaron diferencias significativas en la proporción de incidencia de *P. xylostella* entre los lotes ($p < 0,05$) (Tabla 2.7, Fig. 2.11). Los lotes que presentaron mayor incidencia de inmaduros fueron el lote 6 y el lote 4 con un promedio de $9,12 \pm 1,15$ y $8,75 \pm 0,92$ plantas, respectivamente. El resto de lotes presentaron medias que oscilaron entre $8,02 \pm 1,01$ y $3,38 \pm 0,55$ plantas con presencia de inmaduros de *P. xylostella*.

Tabla 2.7: Comparación de a pares LSD de Fisher para incidencia de la plaga entre lotes para el año 2016. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Lote	Media	E.E.				
Lote 6	9,12	0,13	A			
Lote 4	8,75	0,11	A			
Lote 7	8,02	0,13	A	B		
Lote 3	6,81	0,12	A	B	C	
Lote 9	6,31	0,15	A	B	C	D
Lote 2	6,10	0,13		B	C	D
Lote 5	5,20	0,13			C	D
Lote 8	4,62	0,14				D E
Lote 1	3,38	0,16				E

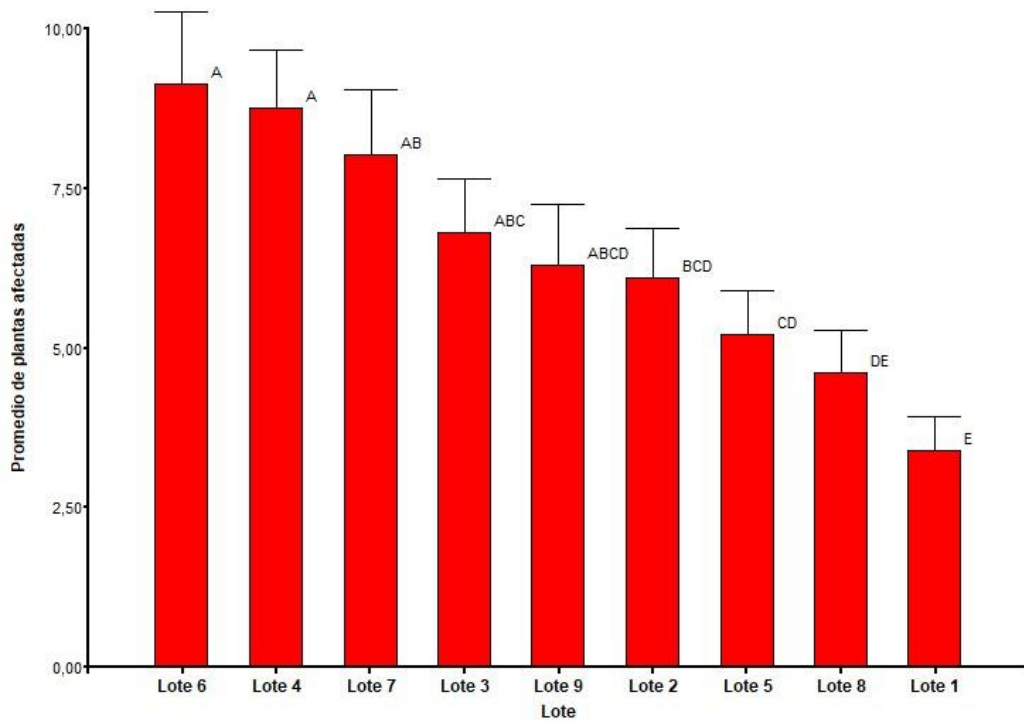


Fig. 2.11 Incidencia de inmaduros de *Plutella xylostella* en lotes estudiados en el año 2016.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En el año 2017, se observaron diferencias estadísticamente significativas en la incidencia de inmaduros de *P. xylostella* en los lotes muestreados (Tabla 2.8, Fig. 2.12). Sin embargo, los lotes 11, 13 y 15 no presentaron diferencias entre ellos ($p > 0,05$) donde el promedio de la

incidencia varió de $4,91 \pm 0,97$ a $4,18 \pm 0,86$ plantas con presencia de la plaga. Los lotes anteriormente nombrados no presentaron diferencias con el lote 12 ni con el 14 que registraron medias de $5,55 \pm 1,07$ y $3,64 \pm 0,78$ respectivamente. Finalmente, el lote 10 registró el menor valor de incidencia de la plaga con una media de $2,09 \pm 0,53$ plantas.

Tabla 2.8. Comparación de a pares LSD de Fisher para incidencia de la plaga entre lotes para el año 2017. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Lote	Media	E.E.	
Lote 12	5,55	1,07	A
Lote 11	4,91	0,97	A B
Lote 13	4,27	0,87	A B
Lote 15	4,18	0,86	A B
Lote 14	3,64	0,78	B
Lote 10	2,09	0,53	C

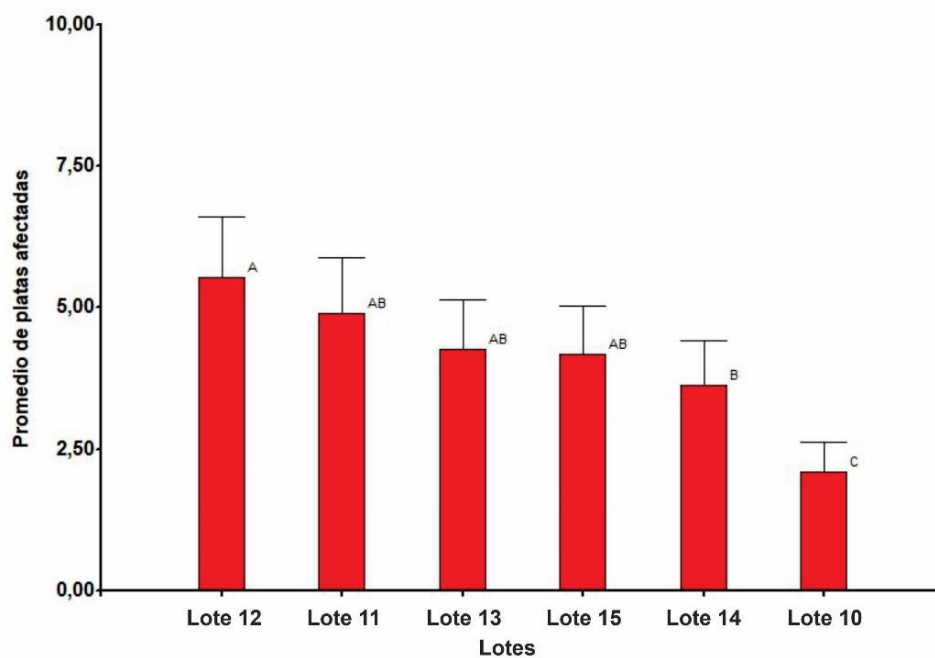


Figura 2.12 Incidencia de *Plutella xylostella* en los lotes estudiados en el año 2017.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En el año 2018, los sitios que presentaron mayor incidencia promedio fueron los lotes 18, 17 y 19, con medias de $8,53 \pm 1,18$; $8,31 \pm 1,16$ y $8,11 \pm 1,35$, respectivamente (Tabla 2.9, Fig. 2.13). Entre los lotes anteriormente nombrados no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Esta misma situación se observó entre los lotes 23, 21, 22 y 20 (presentaron medias que variaron entre $6,63 \pm 1,06$; $6,00 \pm 1,00$; $4,99 \pm 0,88$ y $4,89 \pm 0,93$ respectivamente) y finalmente el lote 16 con $4,27 \pm 0,79$ plantas con presencia de la plaga en promedio.

Tabla 2.9. Comparación de a pares LSD de Fisher para incidencia de la plaga entre lotes para el año 2018. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Lote	Media	E.E.	
Lote18	8,53	1,18	A
Lote 17	8,31	1,16	A
Lote 19	8,11	1,35	A
Lote 23	6,63	1,06	A B
Lote 21	6,00	1,00	A B C
Lote 22	4,99	0,88	B C
Lote 20	4,89	0,93	B C
Lote16	4,27	0,79	C

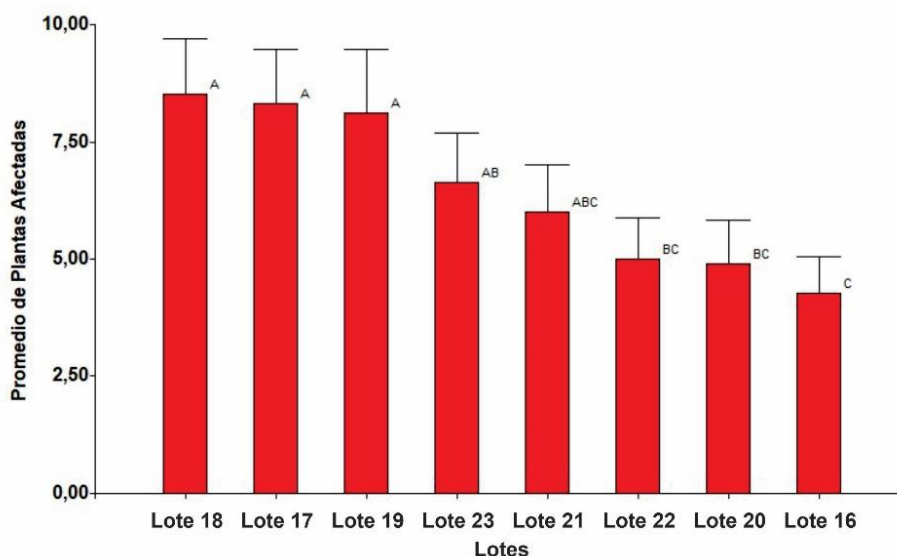


Figura 2.13. Incidencia de *Plutella xylostella* en los lotes estudiados en el año 2018.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Sincronía espacial de *Plutella xylostella* en la RAC

La sincronía espacial de *P. xylostella* fue variable durante los tres años de muestreo. Durante el primer año, 2016, se observó una sincronía regional del 10%, iniciando con una sincronía negativa en distancias menores a 5 km para luego estabilizarse en una sincronía de alrededor del 10 % a partir de los 5 km (Fig.2.14).

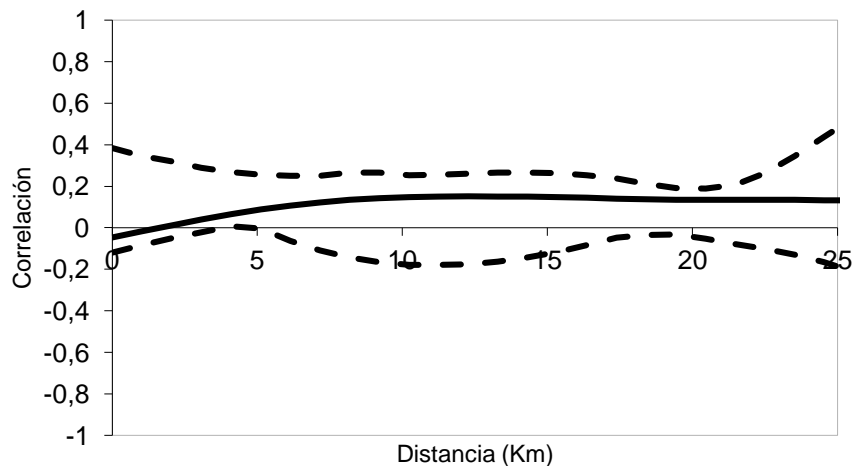


Figura 2.14 Función de covariación espacial para inmaduros de *Plutella. xylostella* durante el año 2016. Sincronía Regional: 0.10 (10 %).

Para el período 2017 se observó una sincronía regional del 58% manteniéndose constante desde los sitios de muestreo próximo hasta la separación máxima de 25 km (Fig. 2.15).

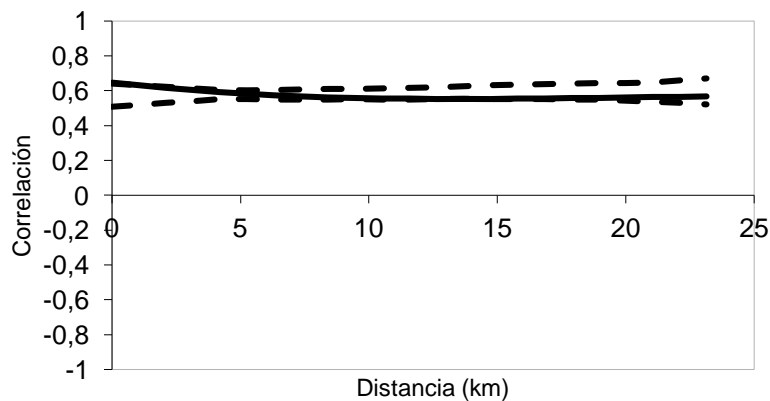


Figura 2.15 Función de covariación espacial para inmaduros de *Plutella xylostella* durante el año 2017. Sincronía Regional: 0.58 (58%).

Finalmente, para el último período de muestreo, 2018, se observó que la sincronía regional disminuyó desde un 64% en lotes con una separación menor a un Km hasta una sincronía mínima de 7% en lotes separados por 23 km (Fig. 2.16).

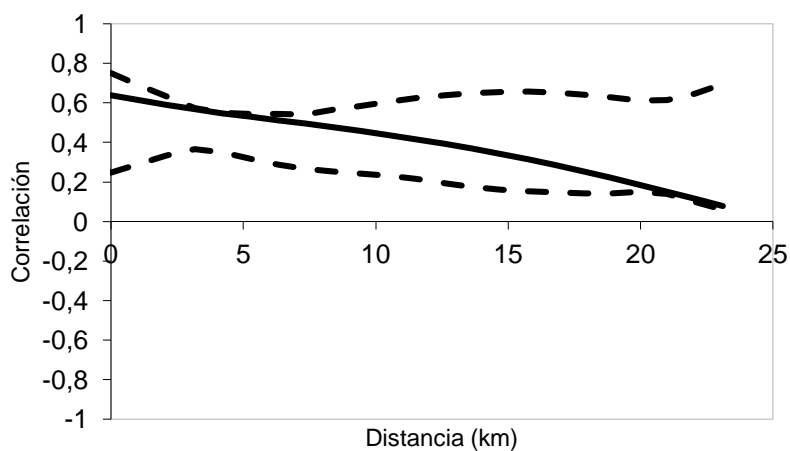


Figura 2.16 Función de covariación espacial para inmaduros de *Plutella xylostella* durante el año 2018. Sincronía Regional: 0.44 (44%).

DISCUSIÓN

La Región Agroalimentaria de Córdoba, antiguo Cinturón Verde, es la región con mejores suelos productivos bajo riego por gravedad de Argentina. Concentra más de 3000 ha de explotaciones hortícolas en dos zonas: la zona noreste con aproximadamente 2600 ha, y la zona sur con alrededor de 600 ha (Giobellina, 2017). En esta área los cultivos de brasicáceas se producen regularmente durante todo el año y *Plutella xylostella* es la plaga más importante de este cultivo (Grilli *et al.*, 2015). En el presente trabajo se pudo observar la presencia de *Plutella xylostella* en los 23 lotes estudiados en la RAC durante los tres años de muestreo. Esto concuerda con lo manifestado por Massarolli *et al.* (2019) quienes afirmaron que esta plaga se encuentra en todas las regiones productoras de brasicáceas. *Plutella xylostella* puede estar presente siempre que haya disponibilidad de las plantas huésped (Wagener *et al.*, 2004; Ahmad y Ansari, 2010) sean cultivadas o silvestres (Sarfraz *et al.*, 2012). Si bien los valores de incidencia fueron variables en los tres años de estudio, de manera general, la presencia de esta polilla se evidenció desde los primeros estados de desarrollo del cultivo de las brasicáceas y duró prácticamente todo el ciclo de cultivo. Nuestros resultados coinciden con lo descrito por Hasanshahi *et al.* (2014) quienes observaron que la PDD inicia su daño desde el estado de trasplante y continúa hasta el estado de cosecha. Los primeros estados fenológicos del cultivo son los más afectados ya que *P. xylostella* en ataques a plantas pequeñas prefiere posicionarse en las yemas apicales destruyéndolas, con lo cual puede afectar la formación de la cabeza en el repollo, el brócoli y la coliflor (Curis *et al.*, 2019).

En general la literatura científica disponible sobre la dinámica de *P. xylostella* en condiciones de campo reporta en su gran mayoría datos relacionados con la densidad de la plaga y no con su incidencia (Muriel y Grez, 2003; Campos *et al.*, 2006; Campos, 2008; Bertolaccini *et al.*, 2011; Marchioro y Foerster, 2016), pero en términos agronómicos, la incidencia de la plaga es fundamental ya que es una herramienta para la toma de decisiones de manejo.

Los datos de incidencia aquí reportados representan un complemento a los datos de la densidad de la plaga. La ventaja de conocer las dos métricas está dada por el hecho de que la

incidencia proporciona información sobre la dispersión de los inmaduros de *P. xylostella* en el campo y la densidad da la información de cuán severo puede ser el ataque de la plaga en cada planta. El término incidencia es utilizado en el ámbito de la fitopatología para expresar el número de plantas afectadas por una enfermedad (en función del total de plantas evaluadas) y diferenciarlo claramente de la densidad de ataque del microorganismo (severidad) (Koech y Whitbread, 2006; Ríos y Baca, 2006; Cerna *et al.*, 2019). Sin embargo, en el ámbito de la ecología de plagas se ha observado que se utilizan estos términos indistintamente (Kahutia, 2011; Ali *et al.*, 2020; Shyam *et al.*, 2020; Gehlot y Prajapat, 2021). La incidencia no es un indicativo de densidad, ya que puede encontrarse una elevada cantidad de inmaduros de la PDD en pocas plantas o muchas plantas afectadas con pocos inmaduros de la plaga.

En la mayoría de los lotes, la variación de la densidad de inmaduros por planta se inicia con densidades bajas, para luego ir en aumento hasta alcanzar el máximo. Luego de ese máximo el comportamiento es variable dependiendo del lote. Es decir, cada lote presenta variaciones propias, con densidades iniciales muy variables, y con densidades máximas también muy variables. Es importante tener en cuenta que en general los muestreos se iniciaban al poco tiempo de la implantación de las plántulas al lote, por lo que esta densidad inicial de unas pocas larvas está indicando claramente la colonización de este lote por la plaga. Esto coincide con lo descrito para esta especie por otros autores que señalan que las primeras larvas aparecen durante las primeras semanas de trasplante del cultivo, luego de la infestación inicial se observa un aumento gradual de la población de larvas que alcanza solo un pico, para luego mantenerse activa durante el ciclo de cultivo (Ahmad y Ansari, 2010; Shyam *et al.*, 2020).

Al comparar la densidad entre lotes, vimos que esta fue significativamente diferente tanto entre los lotes como entre los años. Durante el primer año, las capturas medias por planta entre lotes, mostró un rango de 5.99 a 0.83 inmaduros por planta. Para el segundo año, si bien se observaron diferencias entre lotes, las densidades fueron menores, oscilando entre 1,35 y 0,29 inmaduros por planta. Finalmente, durante el último año de muestreo, las densidades de inmaduros por planta volvieron a valores similares al primer año de muestreo, en un rango de 5,16 y 0,38. Las comparaciones mediante MLGM entre lotes para cada año, mostró que la

diferencia de densidades entre los lotes es significativa dentro de cada año, pero al comparar entre años, se observó que hubo diferencia significativa entre el primer y último año con el segundo. Este efecto local en la dinámica y de las densidades medias entre lotes, es posiblemente un indicio de que, una vez que la plaga llega a un campo de brasicáceas, crea poblaciones locales.

La temperatura media histórica durante la primavera en la zona de estudio es de 16,5°C (SMN, 1992). Basándonos en el tiempo de desarrollo descrito para *P. xylostella* por diferentes autores (Liu *et al.*, 2002, Marchioro y Foerster, 2011), a esta temperatura deberíamos esperar entre 2 y 3 generaciones durante los 90 días que duró la temporada de muestreo cada año. Si bien *P. xylostella* es un buen volador (Kuwahara *et al.*, 1995; Coulson *et al.*, 2002), sólo el 1 % de los individuos se dispersa a más de 200 metros de su lugar de nacimiento (Mo *et al.* 2003), lo que hace altamente probable que los individuos completen su ciclo en el mismo campo en el que nacen. Los lotes 6, 7 y 4 fueron los de mayores capturas en 2016, y los lotes 11 y 12 en 2017 y los lotes 17 y 18 en 2018. Estos siete lotes estaban muy próximos entre sí en una zona muy concreta de la región hortícola del noreste. Pero también hay una diferencia entre años: en 2017, el número de individuos inmaduros por planta fue menor que en los otros dos años. La zona hortícola noreste cuenta con más explotaciones que la zona sur, con 6 veces más superficie dedicada a la producción hortícola (Giobellina, 2017). En estas explotaciones se cultivan brasicáceas de forma habitual, además de otros cultivos, aumentando la superficie total de hospedadores adecuados para *P. xylostella* y, aunque la mayoría de los individuos permanecen dentro del cultivo natal, existe un movimiento importante entre la parcela de cultivo y la vegetación natural o cultivada vecina (Schellhorn *et al.*, 2008). Casi el 1% de los individuos pueden desplazarse distancias mayores para colonizar parcelas de cultivo vecinas (Mo *et al.*, 2003), y esta es la razón de las diferencias observadas: en la zona sur, con menos parcelas, la tasa de recolonización de las parcelas hospedadoras tiene que ser menor, y las poblaciones se inician siempre de un menor número de individuos. Esto se ve reforzado cuando analizamos la incidencia. En la mayoría de los casos el patrón de variación de la incidencia sigue al patrón de variación de la densidad por planta. Es decir, en lotes con densidades bajas, la incidencia es baja, para luego a medida que la población aumenta y se genera la dispersión intra-lote, esta se

generaliza y termina ocupando todas las plantas del lote. La relación entre la densidad e incidencia, se confirma con el análisis de regresión. El modelo muestra que la incidencia aumenta abruptamente hasta densidades de entre 20 y 40 individuos por lote, donde en algunos casos la incidencia es máxima. Este acompañamiento del patrón de incidencia con el patrón de variación de la densidad ocurre en la mayoría de los lotes, excepto en los lotes 17 y 18 que muestran la máxima incidencia, y altas densidades de inmaduros por planta desde el comienzo del muestreo. Es evidente que estos lotes fueron colonizados rápidamente.

Los insectos plaga que explotan hábitats en parches suelen tener una capacidad migratoria bien desarrollada, fundamental en el ciclo de colonización y extinción de las poblaciones locales (Campos *et al.*, 2004). Los insectos emigran cuando su hábitat se deteriora o da señales de que está a punto de deteriorarse (Campos *et al.*, 2006). *Plutella xylostella* tiene una capacidad migratoria muy amplia ya que puede desplazarse largas distancias (Kuwahara *et al.*, 1995; Coulson *et al.*, 2002) y así superar las condiciones adversas del hábitat durante diferentes épocas del año (Pecorari, 2014). El origen de las infestaciones de *P. xylostella* estarían dadas por condiciones atmosféricas que benefician la migración de adultos de este Lepidóptero (Doddall *et al.*, 2001; Campos *et al.*, 2006), con lo cual daría inicio una dinámica propia de cada campo, influenciada también por el tipo de manejo que se dé al cultivo, el número de lotes de brasicáceas que se producen con poca distancia entre ellos, o si son monocultivos, etc. En este trabajo se observó una importante variación de la sincronía espacial durante los tres años de estudio. Durante el primer año, la sincronía espacial entre lotes próximos entre sí es virtualmente nula, comenzando con una sincronía negativa en lotes próximos, estabilizándose en un 10 % a partir de los cinco kilómetros de separación hasta la máxima de más de 23 km. Durante el segundo año por otra parte ocurre el fenómeno inverso, la sincronía regional de las poblaciones de *P. xylostella* en los lotes de brasicáceas de la RAC pasa a ser muy elevada (58 %) de forma constante independientemente de la distancia de separación de los lotes. Finalmente, durante el último año de muestreo el patrón de sincronía regional es variable a medida que los lotes muestreados están más separados entre sí; *i.e.* se observa una elevada sincronía en lotes cercanos (64 %) que va disminuyendo a medida que la separación entre lotes aumenta, alcanzando una mínima sincronía del 7 % a los 23 km de separación.

La sincronía es un fenómeno omnipresente en una gran variedad de sistemas naturales. La sincronía de los ciclos de población entre poblaciones geográficamente distintas se ha detectado en todos los taxones importantes, incluidos insectos, peces, aves y mamíferos (Liebhold *et al.*, 2004). Este fenómeno está tan extendido en la naturaleza que ha llevado a ecólogos, físicos y matemáticos a explorar mecanismos de sincronía comunes a diversos sistemas. Aunque se han producido importantes avances en el desarrollo teórico de cómo podrían interactuar diversos procesos poblacionales para producir patrones espaciales en la abundancia de las poblaciones animales, esta teoría ha permanecido en gran medida sin probar debido a las complejidades de recopilar y comprender datos espacio-temporales extensos (Liebhold y Kamata, 2000).

Los avances en estadística espacial ofrecen nuevas herramientas para poner a prueba estas teorías (Bjørnstad y Bascompte, 2001; Buonaccorsi *et al.*, 2001). Probablemente, el patrón espacio-temporal más frecuentemente documentado en los datos ecológicos es la sincronía espacial, es decir, las fluctuaciones correlacionadas de la población en áreas geográficas localizadas o de gran escala (Bjørnstad *et al.*, 1999; Hudson y Cattadori, 1999). Los estudios teóricos han demostrado que tanto la estocasticidad regional (es decir, fuerzas aleatorias correlacionadas espacialmente que afectan al crecimiento de la población de forma independiente de la densidad) como la dispersión, juntos o por separado, son mecanismos plausibles en la explicación de la sincronía espacial. Un tercer mecanismo potencial es la sincronización regional a través de la acción de enemigos naturales móviles (Ims y Steen, 1990). La fuente más obvia de estocasticidad regional es el clima: muchas variables climáticas están muy correlacionadas en amplias zonas geográficas (Koenig, 2002). Según la teoría desarrollada por P. A. P. Moran ("el efecto Moran"), las poblaciones segregadas espacialmente con una dinámica idéntica dependiente de la densidad se sincronizarán si se ven afectadas de forma similar por factores regionalizados independientes de la densidad, como las perturbaciones meteorológicas (Morán, 1953; Royama, 1992).

Para las poblaciones con un crecimiento simple dependiente de la densidad, se predice que la sincronía espacial refleja la correlación en el entorno. Esta predicción se cumple, en

teoría, siempre que la dinámica local no sea demasiado no lineal (Grenfell *et al.*, 1998; Bjørnstad, 2000). La dispersión también puede inducir la sincronía uniendo poblaciones reguladas localmente. El alcance espacial de la sincronía en la abundancia está, por tanto, controlado por el alcance de la sincronía en la variación climática (por ejemplo, Williams y Liebhold (2000)) y por el alcance espacial de la dispersión (por ejemplo, Bjørnstad y Bolker (2000)).

En nuestro estudio, se analizó la variación de la densidad de inmaduros, por lo que es poco probable que los patrones más o menos sincrónicos de las poblaciones se deban de manera directa a la dispersión; los inmaduros no se dispersan por lo que la sincronía no podría estar causada por este fenómeno. Si bien las poblaciones de los lotes de brasicáceas se originan en su mayoría a partir de individuos dispersivos que colonizan el lote y las hembras, si el lote se encuentra en buen estado, ovipondrán en el mismo lote donde nacieron, incrementando la población local (Furlong *et al.*, 2013). Si bien mediante este análisis no es posible establecer si los factores que determinan la densidad / incidencia de la PDD son estocásticos o no, una posible explicación a la variabilidad de la sincronía en los tres años del estudio se puede deber a las diferencias de trasplante del cultivo (el segundo año fue tardío), la aplicación de insecticidas (para *P. xylostella* o para controlar otra plaga) o las condiciones o el manejo cultural del entorno. Un indicio de este hecho es el patrón claro de disminución de sincronía durante el último período de muestreo. Ese año según nos informaban los productores, el manejo con agroquímicos fue mucho más laxo, ya que por el aumento de costos en dólares no podían acceder a los agroquímicos efectivos.

Surge la necesidad de continuar con la investigación en la zona, enfocada principalmente en los siguientes ámbitos: a) el monitoreo de adultos para determinar la fuente de infestación inicial de la plaga; b) el monitoreo y control de calidad a las plántulas de los viveros; c) el manejo fitosanitario del cultivo en la zona d) el estudio de las plantas brasicáceas silvestres que servirían como refugio de *P. xylostella*, favoreciendo las posibilidades de supervivencia cuando las especies cultivadas no están disponibles, o cuando el cultivo se ve afectado por la aplicación de insecticidas (Marchioro, 2011). Además, cabe tener en cuenta el impacto de la diversidad del

cultivo, como ha sido reportado por Ayalew y Ogol (2006), quienes encontraron bajas densidades de PDD en campos de brasicáceas intercalados con cultivos de sorgo y maíz, lo que evidencia la gran importancia de los factores bióticos en la regulación de la densidad de esta especie (Marchioro y Foerster, 2016).

CONCLUSIONES

- Nuestros resultados confirmaron las predicciones propuestas a partir de la hipótesis.
- En este trabajo se confirma la presencia y el establecimiento de *Plutella xylostella* en todos los lotes estudiados.
- Se observó una relación directa entre la densidad de la plaga estimada como inmaduros por planta y el porcentaje de la incidencia de la misma en todos los lotes.
- A densidades entre 20 y 40 individuos por lote la incidencia es máxima.
- La sincronía espacial de las poblaciones de *P. xylostella* en la RAC fue variable durante los tres años de muestreo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Ahmad, T., y Ansari, M. (2010). Studies on seasonal abundance of diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) on cauliflower crop. *Journal of Plant Protection Research*, 50(3), 280–287. <https://doi.org/10.2478/v10045-010-0049-6>
- Ali, H., Ansari, M., & Ahmad, T. (2020). Effect of intercropping on the incidence of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linn.) on cauliflower. *Journal of Entomological and Zoology Studies*, 8(5), 1110–1114.
- Alizadeh, M., Rassoulian, G., Karimzadeh, J., Hosseini, V., y Farazmand, H. (2011). Biological study of *Plutella xylostella* (L.) (Lep: Plutellidae) and It's solitary endoparasitoid, *Cotesia vestalis* (Haliday) (Hym. Braconidae) under Laboratory conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 14(24), 1090–1099.
- Armengot, L., Ferrari, L., Milz, J., Vel, F., Hohmann, P., y Schneider, M. (2020). Cacao agroforestry systems do not increase pest and disease incidence compared with monocultures under good cultural management practices. *Crop Protection*, 130, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105047>
- Ayalew, G., y Ogol, C. (2006). Occurrence of the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) and its parasitoids in Ethiopia: Influence of geographical region and agronomic traits. *Journal of Applied Entomology*, 130(6–7), 343–348. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2006.01078.x>
- Bado, S. (2019). Estimación de la función de daño potencial y nivel de daño económico de *Caliroa cerasi* L. (Hymenoptera: Tenthredinidae) en el valle inferior del Río Chubut (región Patagonia sur, Argentina). *RIA- Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 1–6.
- Bertolaccini, I., Sánchez, D., y Arregui, C. (2010). Incidencia de algunos factores naturales de mortalidad de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), en el área centro-este de Santa Fe, Argentina. *Horticultura Argentina*, 29(68), 20–24.
- Bertolaccini, I., Sánchez, D., Arregui, M., Favaro, J., y Theiler, N. (2011). Mortality of *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Plutellidae) by parasitoids in the Province of Santa Fe, Argentina. *Revista Brasileira de Entomologia*, 55(3), 454–456.
- Bertolaccini, I., Sánchez, D., Arregui, M., Favaro, J., y Theiler, N. (2011). Supervivencia de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera, Plutellidae) en diferentes híbridos de *Brassica oleracea* L. var. *capitata*. *Revista FAVE-Ciencias Agrarias*, 10, 53–59.
- Bjørnstad, O. (2000). Cycles and Synchrony: Two Historical “Experiments” and One Experience.

- Journal of Animal Ecology*, 69(5), 869–873.
- Bjørnstad, O., y Bascompte, J. (2001). Synchrony and Second-Order spatial correlation in Host-Parasitoid systems. *Journal of Animal Ecology*, 70(6), 924–933.
- Bjørnstad, O., y Bolker, B. (2000). Canonical functions for dispersal-induced synchrony. *Proceedings of Royal Society London B*, 267, 1787–1794.
- Bjørnstad, O., y Falck, W. (2001). Nonparametric spatial covariance functions: Estimation and testing. *Environmental and Ecological Statistics*, 8, 53–70.
- Bjørnstad, O., Ims, R., y Lambin, X. (1999). Spatial population dynamics: analyzing patterns and processes of population synchrony. *TREE*, 14(11), 427–432.
- Buonaccorsi, J., Elkinton, J., Evans, S., y Liebhold, A. (2001). Measuring and testing for spatial synchrony. *Ecology*, 82(6), 1668–1679.
- Campos, W. (2008). Photoperiodism and seasonality in neotropical population of *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Neotropical Entomology*, 37(4), 365–369. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2008000400003>
- Campos, W., Schoereder, J., y De Souza, O. (2006). Seasonality in neotropical populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera): Resource availability and migration. *Population Ecology*, 48(2), 151–158. <https://doi.org/10.1007/s10144-005-0250-z>
- Campos, W., Schoereder, J., y Sperber, C. (2004). Does the age of the host plant modulate migratory activity of *Plutella xylostella*? *Entomological Science*, 7(4), 323–329. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2004.00080.x>
- Cerna, E., Magaña, R., Velázquez, J., Ochoa, Y., Cepeda, M., y Hernández, O. (2019). Evaluación de extractos vegetales sobre incidencia y severidad de *Hemileia vastatrix* en cultivo de café. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 557–563. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2182>
- Chaplin, R., O'Rourke, M., Blitzer, E., y Kremen, C. (2011). A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*, 14(9), 922–932. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01642.x>
- Chapman, J., Reynolds, D., Smith, A., Riley, J., Pedgley, D., y Woiwod, I. (2002). High-altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the U.K.: A study using radar, aerial netting, and ground trapping. *Ecological Entomology*, 27(6), 641–650. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2002.00472.x>
- Coulson, S., Hodkinson, I., Webb, N., Mikkola, K., Harrison, J., y Pedgley, D. (2002). Aerial colonization of high Arctic islands by invertebrates: The diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a potential indicator species. *Diversity and Distributions*, 8(6),

- 327–334. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2002.00157.x>
- Curis, M., Bertolaccini, I., Lutz, A., y Favaro, J. (2019). Estado del MIP de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) en Argentina. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 18(2), 7–18. <https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.8780>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. (2020). *InfoStat*. Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar/>
- Dosdall, L., Mason, P., Olfert, O., Kaminski, L., y Keddie, B. (2001). The origins of infestations of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in canola in western Canada. *The Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests*, 95–100. <http://web.entomology.cornell.edu/shelton/diamondbackmoth/pdf/2001papers/2001DBM12.pdf>
- Endersby, N., Mckechnie, S., Ridland, P., y Weeks, A. (2006). Microsatellites reveal a lack of structure in Australian populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Molecular Ecology*, 15(1), 107–118. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02789.x>
- Espinoza, R., y Grilli, M. (2019). First record of the spatio-temporal variation of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoids complex in the horticultural area of Córdoba city in central Argentina. *Biological Control*, 133, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.02.017>
- Fernández, S., y Álvarez, C. (1988). Biología de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) polilla del repollo (*Brassica oleraceae* L.) en condiciones de laboratorio. *Agronomía Tropical*, 38, 1–9.
- Fu, X., Xing, Z., Liu, Z., Ali, A., y Wu, K. (2014). Migration of diamondback moth, *Plutella xylostella*, across the Bohai Sea in northern China. *Crop Protection*, 64, 143–149. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2014.06.021>
- Furlong, M., Wright, D., y Dosdall, L. (2013). Diamondback moth ecology and management: Problems, progress, and prospects. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 517–541. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605>
- Gehlot, L., y Prajapat, A. (2021). Seasonal incidence of insect pests on Mungbean (*Vigna radiata*) in correlation with meteorological data. *Agricultural Science Digest*, 41, 199–202. <https://doi.org/10.18805/ag.D-5222.Submitted>
- Giobellina, B., 2017. *El cinturón verde de Córdoba: hacia un plan integral para la preservación, recuperación y defensa del área periurbana de producción de alimentos*. INTA Ediciones.
- Giobellina, B., Marinelli, M., Lobos, D., Eandi, M., Bisio, C., Butinof, M., Narmona, L., y Romero, M. (2022). *Producción frutihortícola en la Región Alimentaria de Córdoba: Caracterización y mapeo*

- 2018-2020 (1a ed). INTA Ediciones. Observatorio de Agricultura Urbana, Periurbana y Agroecología. Agencia de Extensión Rural Córdoba.
- Grenfell, B., Wilson, K., Finkenstädt, B., Coulson, T., Murray, S., Albon, S., Pemberton, J., Clutton, T., y Crawley, M. (1998). Noise and determinism in synchronized sheep dynamics. *Nature*, 394, 674–677.
- Grilli, M., Pecorari, M., y Bruno, M. (2015). Dinámica de la polilla de las coles, *Plutella xylostella* y su complejo de parasitoides en lotes hortícolas de la ciudad de Córdoba. *IX Congreso Argentino de Entomología*, 173.
- Guilloux, T., Monnerat, R., Castelo, M., Kirk, A., y Bordat, D. (2003). Population dynamics of *Plutella xylostella* (Lep., Yponomeutidae) and its parasitoids in the region of Brasilia. *Journal of Applied Entomology*, 127(5), 288–292. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2003.00746.x>
- Gurr, G., Reynolds, O., Johnson, A., Desneux, N., Zalucki, M., Furlong, M., Li, Z., Akutse, K., Chen, J., Gao, X., y You, M. (2018). Landscape ecology and expanding range of biocontrol agent taxa enhance prospects for diamondback moth management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(6), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0539-x>
- Hasanshahi, G., Abbasipour, H., Askarianzadeh, A., Karimi, J., Jahan, F., y Rahimi, A. (2014). Situation of the Diamondback Moth (DBM), *Plutella xylostella* and Its parasitoids in the cauliflower fields of Tehran. *Annual Research & Review in Biology*, 4(3), 473–486. <https://doi.org/10.9734/arrb/2014/5466>
- Hasanshahi, G., Karimi, J., Jahan, F., Abbasipour, H., Askarianzade, A., y Rahimi, A. (2014). Bottom-up and top-down effects in a tritrophic system: The population fluctuations of *Plutella xylostella* and its parasitoid, *Oomyzus sokolowskii* on the cauliflower cultivars in field conditions. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47(6), 681–689. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.818798>
- Hudson, P., y Cattadori, I. (1999). The Moran effect: a cause of population synchrony. *TREE*, 14(1), 98–99.
- Hunter, M. (2002). Landscape structure, habitat fragmentation, and the ecology of insects. *Agricultural and Forest Entomology*, 4(3), 159–166. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2002.00152.x>
- Ims, R., y Steen, H. (1990). Geographical Synchrony in Microtine Population Cycles: A theoretical evaluation of the role of nomadic avian predators. *Oikos*, 57(3), 381–387.
- Kahutia, R. (2011). Seasonal incidence of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and its associated natural enemies in major crucifer growing areas of Kenya. *Journal of Applied Biosciences*, 46, 3103–3112. <https://doi.org/10.5897/jpbcs10.004>

- Koech, E., y Whitbread, R. (2006). Incidence and severity of bean rust (*Uromyces appendiculatus*) in alleys between *Leucaena hedgerows* in Kenya. *New Forests*, 31, 385–402. <https://doi.org/10.1007/s11056-005-8680-1>
- Koenig, W. (2002). Global patterns of environmental synchrony and the Moran effect. *Ecography*, 25(3), 283–288. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2002.250304.x>
- Kuwahara, M., Keinmeesuke, P., y Shirai, Y. (1995). Seasonal trend in population density and adult body size of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) in Central Thailand. *Applied Entomology and Zoology*, 30(4), 551–555. <http://www.mendeley.com/research/geology-volcanic-history-eruptive-style-yakedake-volcano-group-central-japan/>
- Li, J., Zhao, F., Choi, Y., Kim, I., Sohn, H., y Jin, B. (2006). Genetic variation in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) in China inferred from mitochondrial COI gene sequence. *European Journal of Entomology*, 103(3), 605–611. <https://doi.org/10.14411/eje.2006.081>
- Liebhold, A., y Kamata, N. (2000). Are population cycles and spatial synchrony a universal characteristic of forest insect populations? *Population Ecology*, 42(3), 205–209. <https://doi.org/10.1007/pl00011999>
- Liebhold, A., Koenig, W., y Bjørnstad, O. (2004). Spatial synchrony in population dynamics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 467–490. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132516>
- Lietti, M., Grilli, M., Fernández, C., y Espinoza, R. (2020). *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae): Bioecología y control biológico. In L. Polack, R. Lecuona, y S. López (Eds.), *Control biológico de plagas en horticultura. Experiencias argentinas de las últimas tres décadas* (1a ed, pp. 444–483). Ediciones INTA.
- Lietti, M., Trumper, E., Fernández, C., Reyes, V., Leoncelli, G., y Vignaroli, L. (2014). Plan de muestreo secuencial para larvas de la polilla de las coles, *Plutella xylostella* (L.), en colza. *1º Simposio Latino Americano de Canola*, 1–6.
- Liu, S., Chen, F., y Zalucki, M. (2002). Development and Survival of the Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) at constant and alternating temperatures. *Environmental Entomology*, 31(2), 221–231. <https://doi.org/10.1603/0046-225x-31.2.221>
- Marchioro, C. (2011). *Flutuação populacional de Plutella xylostella (L., 1758) (Lepidoptera: Yponomeutidae) e de seus parasitóides no sudeste do Paraná: biologia em plantas silvestres e cultivadas e exigências térmicas*. Tese de Doutorado. Universidade Federal Do Paraná.

- Marchioro, C., y Foerster, L. (2011). Development and Survival of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a function of temperature: Effect on the number of generations in tropical and subtropical regions. *Neotropical Entomology*, 40(5), 533–541.
- Marchioro, C., y Foerster, L. (2012). Modelling reproduction of *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae): climate change may modify pest incidence levels. *Bulletin of Entomological Research*, 102, 489–496. <https://doi.org/10.1017/S0007485312000119>
- Marchioro, C., y Foerster, L. (2016). Biotic factors are more important than abiotic factors in regulating the abundance of *Plutella xylostella* L., in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 60(4), 328–333. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2016.06.004>
- Massarolli, A., Gualda, B., Dalla, F., Butnariu, A., Barbosa, M., y Foerster, L. (2019). Evaluation of leaf consumption and determination of economic injury level caused by *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in *Brassica oleracea* var. *acephala* (Brassicales: Brassicaceae). *Journal of Economic Entomology*, 112(4), 1805–1811. <https://doi.org/10.1093/jee/toz113>
- Mo, J., Baker, G., Keller, M., y Roush, R. (2003). Local dispersal of the diamondback moth (*Plutella xylostella* (L.)) (Lepidoptera: Plutellidae). *Environmental Entomology*, 32(1), 71–79. <https://doi.org/10.1603/0046-225x-32.1.71>
- Morán, P. (1953). The Statistical analysis of the Canadian Lynx cycle II. Synchronization and meteorology. *Australian Journal of Zoology*, 1, 291–298.
- Muhamad, O., Tsukuda, R., Oki, Y., Fujisaki, K., y Nakasuji, F. (1994). Influences of wild crucifers on life history traits and flight ability of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Researches on Population Ecology*, 36(1), 53–62. <https://doi.org/10.1007/BF02515085>
- Muriel, S., y Grez, A. (2003). Abundancia y parasitismo de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) en parches de *Brassica oleracea* con diferente forma y vegetación circundante. *Actualidades Biológicas*, 25(79), 99–103.
- Niu, Y., Li, X., Li, P., y Liu, T. (2013). Effects of different cruciferous crops on the fitness of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection*, 54, 100–105. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.004>
- Økland, B., Liebhold, A., Bjørnstad, O., Erbilgin, N., y Krokene, P. (2005). Are bark beetle outbreaks less synchronous than forest Lepidoptera outbreaks? *Oecologia*, 146, 365–372. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0221-2>
- Pecorari, M. (2014). *Variación temporal de Plutella xylostella y de su complejo de parasitoides en lotes hortícolas de coles del cinturón verde de la ciudad de Córdoba*. Tesis de Licenciatura. Universidad

- Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 55 pp.
- Peltonen, M., Liebhold, A., Bjørnstad, O., y Williams, D. (2002). Spatial synchrony in forest insect outbreaks: Roles of regional stochasticity and dispersal. *Ecology*, 83(11), 3120–3129. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[3120:SSIFIO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[3120:SSIFIO]2.0.CO;2)
- Pérez, C., Alvarado, P., Narváez, C., Miranda, F., Hernández, L., Vanegas, H., Hruska, A., y Shelton, A. (2000). Assessment of insecticide resistance in five insect pests attacking field and vegetable crops in Nicaragua. *Journal of Economic Entomology*, 93(6), 1779–1787. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.6.1779>
- Pérez, G. (2013). *Efecto de franjas marginales de Brassica campestris L. en repollo sobre Plutella xylostella (Lepidoptera: Plutellidae) y sus enemigos naturales*. Tesis de grado de Magíster. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, 49 pp.
- R Core Team. (2019). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.r-project.org>
- Ríos, F., y Baca, P. (2006). *Niveles y umbrales de daños económicos de las plagas*. PROMIPAC-INATEC-SICA-ZAMORANO-Taiwán.
- Ripa, J. (2000). Analysing the Moran effect and dispersal: their significance and interaction in synchronous population dynamics. *OIKOS*, 89(1), 175–187.
- Romero, F. (2004). *Manejo Integrado de Plagas: Las bases, sus conceptos, su mercantilización* (Primera Ed). Universidad Autónoma de Chapingo. Colegio de Postgraduados.
- Royama, T. (1992). *Analytical Population Dynamics*. Chapman & Hall United Kingdom.
- Rusch, A., Valantin, M., Sarthou, J., y Roger, J. (2010). Biological control of insect pests in agroecosystems. Effects of crop management, farming systems, and seminatural habitats at the landscape scale: A review. In *Advances in Agronomy* (pp. 219–259). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385040-9.00006-2>
- Rusch, A., Valantin, M., Sarthou, J., y Roger, J. (2013). Effect of crop management and landscape context on insect pest populations and crop damage. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 166, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.004>
- Saitoh, T. (2020). Effects of environmental synchrony and density-dependent dispersal on temporal and spatial slopes of Taylor's law. *Population Ecology*, 62(3), 300–316. <https://doi.org/10.1002/1438-390X.12051>
- Sarfraz, M., Dosdall, L., y Keddie, B. (2012). Influence of the herbivore host's wild food plants on parasitism, survival and development of the parasitoid *Diadegma insulare*. *Biological Control*, 62(1), 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.03.004>

- Schellhorn, N., Bellati, J., Paull, C., y Maratos, L. (2008). Parasitoid and moth movement from refuge to crop. *Basic and Applied Ecology*, 9(6), 691–700.
<https://doi.org/10.1016/j.baae.2007.12.010>
- Shyam, R., Awasthi, A., Tomar, R., y Kumar, S. (2020). Seasonal incidence of diamond back moth (*Plutella xylostella* Linn.) on cabbage and its correlation with different abiotic factors. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(5), 775–778.
- SMN, Servicio Meteorológico Nacional (1992) Estadísticas climatológicas 1981–1990, Primera Ed. Fuerza Aérea Argentina, Buenos Aires - Argentina.
- Talekar, N., y Shelton, A. (1993). Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annual Review of Entomology*, 38(92), 275–301.
<https://doi.org/10.1136/bmj.1.5851.492-a>
- Thorbeck, P., y Bilde, T. (2004). Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *Journal of Applied Ecology*, 41, 526–538.
- Tovar, H., Bautista, N., Vera, J., Suárez, A., y Ramírez, S. (2007). Fluctuación poblacional y parasitismo de larvas de *Copitarsia decolora* Guenée, *Plutella xylostella* L. y *Trichoplusia ni* Hübner (Lepidoptera) en *Brassica oleracea* L. *Acta Zoológica Mexicana*, 23, 183–196.
- Wagener, B., Reineke, A., Löhr, B., y Zebitz, C. (2004). A PCR-based approach to distinguish important *Diadegma* species (Hymenoptera: Ichneumonidae) associated with diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of Entomological Research*, 94(5), 465–471.
<https://doi.org/10.1079/ber2004315>
- Williams, D., y Liebhold, A. (2000). Spatial synchrony of Spruce budworm outbreaks in Eastern North America. *Ecology*, 81(10), 2753–2766

CAPÍTULO 3

COMPOSICIÓN TAXONÓMICA Y DINÁMICA ESPACIO TEMPORAL DEL COMPLEJO PARASÍTICO DE *Plutella* *xylostella* EN LA RAC

INTRODUCCIÓN

Los insecticidas siguen siendo el método de control más común de las plagas agrícolas (Gurr *et al.*, 2018). La dependencia total de una estrategia basada en el uso de productos químicos para proteger a los cultivos no resulta sostenible. El uso generalizado de insecticidas de amplio espectro puede provocar la eliminación de los enemigos naturales (Wagener *et al.*, 2004), que lleva a un uso intensivo y continuado de insecticidas (Sarfraz *et al.*, 2005). Es bien conocido que la alta presión de selección provocada por los insecticidas conlleva al desarrollo de resistencia en los patógenos (Sow *et al.*, 2013). *Plutella xylostella* ha desarrollado resistencia a la mayoría de insecticidas sintéticos disponibles (Talekar y Shelton, 1993; Sarfraz *et al.*, 2005; Zhou *et al.*, 2011; Hasanshahi *et al.*, 2014), incluyendo ingredientes activos relativamente nuevos como espinosinas, avermectinas, neonicotinoides, pirazoles y oxadiazinas (Sarfraz y Keddie, 2005). Esta generación de resistencia por parte de la plaga ha llegado incluso a minar estrategias de biocontrol basadas en formulaciones de *Bacillus thuringiensis* (Berliner) aplicadas en campo (Sow *et al.*, 2013). Debido a estas razones es que se necesitan explorar alternativas para el control de esta plaga (Talekar y Shelton, 1993). Si bien encontrar alternativas bioracionales y/o sustentables a los plaguicidas sintéticos es un desafío (Labou *et al.*, 2016), una opción es el manejo integrado de *P. xylostella* (Wang *et al.*, 1999), basado principalmente en la manipulación de las interacciones planta-herbívoro-enemigo natural (Sarfraz *et al.*, 2012).

El manejo integrado de la PDD combina el uso adecuado de plaguicidas, la diversidad florística en el campo, los cultivos trampa y el Control Biológico (CB) (Bertolaccini *et al.*, 2011). Una forma prometedora de reducir la dependencia de los plaguicidas en los sistemas

hortícolas es el Control Biológico por Conservación (CBC) que consiste en fomentar el cuidado y uso óptimo de enemigos naturales nativos (Labou *et al.*, 2016). *Plutella xylostella* es afectada por diversos agentes de control natural (Furlong *et al.*, 2013), entre los más significativos se encuentran los parasitoides (Azidah *et al.*, 2000; Jankowska y Wiech, 2006; Hasanshahi *et al.*, 2014) actuando como importantes factores de regulación de la plaga (Bertolaccini *et al.*, 2010). Esta plaga en sus diferentes fases del ciclo biológico es atacada por más de 130 especies de parasitoides conocidos (Talekar y Shelton, 1993; Sarfraz *et al.*, 2005; Shakeel *et al.*, 2017; Curis *et al.*, 2019). Sin embargo, en la regulación de las poblaciones de la PDD a nivel mundial intervienen relativamente pocas especies entre las que se destacan los Hymenoptera de los géneros *Diadegma* y *Diadromus* (Ichneumonidae), *Microplitis* y *Cotesia*, (Braconidae) y *Oomyzus* (Eulophidae) (Sarfraz *et al.*, 2005).

En América del Sur se han reportado diferentes especies según los países, por ejemplo, en Chile se citan tres especies de parasitoides primarios y un hiperparasitoide no identificado (Muriel y Grez, 2003). En la región de Brasilia se encontraron siete especies destacándose *Diadegma leontinae* (Brethes) (Hymenoptera: Ichneumonidae) y *Apanteles piceotrichosus* (Blanchard) (Hymenoptera: Braconidae) como las más abundantes (Guilloux *et al.*, 2003). En Pernambuco (Brasil) se han registrado ejemplares de los géneros *Cotesia*, *Conura* y *Tetrastichus* (*Oomyzus*) (Silva *et al.*, 2010). Finalmente, en el Estado de Paraná se reportaron cuatro especies de parasitoides larvarios, con predominio de *Diadegma leontinae* (Bréthes) (Hymenoptera: Ichneumonidae), *Apanteles piceotrichosus* Blanchard (Hymenoptera: Braconidae) y *Siphona* sp. (Diptera: Tachinidae), mientras que *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae) se encontró esporádicamente (Marchioro y Foerster, 2016). En el caso específico de Argentina, en la provincia de Santa Fe se identificaron parasitoides himenópteros de las familias: Ichneumonidae, Braconidae, Eulophidae y Chalcididae (Bertolaccini *et al.*, 2011). En lotes hortícolas de la ciudad de Córdoba se reportaron cuatro especies de parasitoides similares a las encontradas en el sur de Brasil; *D. leontinae*, *A. piceotrichosus*, *O. sokolowskii* y *Siphona* sp., también se encontró un hiperparasitoide facultativo (*Conura pseudofulvovariegata*) (Becker) (Hymenoptera: Chalcididae) (Grilli *et al.*, 2015; Espinoza y Grilli, 2019).

El género *Diadegma*, se ha empleado con éxito en programas de control biológico conservativo en varias partes del mundo, principalmente en el sudeste asiático. Dentro de este género se destacan las especies *Diadegma insulare* que se distribuye desde el Neártico hasta el norte de la región Neotropical (y algunas islas del Pacífico) y *Diadegma leontinae* como autóctona de la región Neotropical meridional (Argentina, Brasil y Chile) (Azidah *et al.*, 2000; Wagener *et al.*, 2004). Por su parte *Apanteles piceotrichosus* se ha reportado que ataca a las poblaciones larvarias de *P. xylostella* con especial preferencia por el segundo estadio larval (Gonçalves y Di Mare, 2005). Este parasitoide ha sido registrado como una de las especies dominantes tanto en la región de Brasilia (Guilloux *et al.*, 2003) como en el Estado de Paraná al sur de Brasil (Marchioro y Foerster, 2016). *Oomyzus sokolowskii* es un parasitoide gregario de larvas y pupas de *P. xylostella* (Furlong y Zalucki, 2007; Silva *et al.*, 2009) que ha mostrado especial preferencia por el cuarto estadio larval de la plaga (Sow *et al.*, 2013).

Siphona sp. (Diptera: Tachinidae) por su parte fue reportado por primera vez como parasitoide de *P. xylostella* por Marchioro y Foerster (2016), estos mismos autores informaron que *Siphona* sp. se comportó como el tercer parasitoide más importante en su estudio realizado en el sur de Brasil. Posteriormente fue encontrado parasitando larvas de *P. xylostella* en la RAC (Espinoza y Grilli, 2019). *Conura pseudofulvovariegata* es una especie que ha sido observada como parasitoide de *P. xylostella* (Silva *et al.*, 2010), y también como hiperparasitoide ocasional de *Diadegma* (Guilloux *et al.*, 2003) y de *Cotesia* (Cortez y Macías, 2007).

El diseño de un manejo integrado requiere conocimientos documentados cuidadosamente sobre las características de cada agente de control. El estado larval del huésped en el que se produce la oviposición del parasitoide puede influir en la tasa de parasitismo, así como en la producción de la progenie (Sithole *et al.*, 2018). Es necesario aún conocer la asociación entre los agentes de control biológico y los estados específicos de la PDD para mejorar las estrategias de control biológico (Bertolaccini *et al.*, 2011). A pesar del conocimiento difundido sobre los parasitoides de *P. xylostella* hasta el momento, aún no se conoce el comportamiento del complejo parasítico en los campos de brasicáceas de la RAC, específicamente en cuanto a su composición, su dinámica poblacional y su eficiencia en el

parasitismo. En base a lo anterior, en el presente capítulo se propone como hipótesis que las características ambientales del paisaje y uso de la tierra del área periurbana de la ciudad de Córdoba favorece la presencia de varias especies de parasitoides de *P. xylostella* en el área de estudio.

Las predicciones que acompañan a la presente hipótesis son:

- Se espera que la importancia relativa de las especies de parasitoides de *P. xylostella* sea variable en cada uno de los lotes estudiados.
- Por otra parte, también se espera que existan diferencias en el porcentaje de parasitismo en las poblaciones de *P. xylostella* en los diferentes los lotes estudiados de la RAC.

Sobre esta base se propone como objetivo para este capítulo:

Describir y comparar la composición taxonómica, fluctuación de la densidad y porcentaje de parasitismo del complejo parasítico de *Plutella xylostella* en lotes de la RAC.

MATERIALES Y MÉTODOS

Inmaduros de *Plutella xylostella* para la evaluación de parasitismo en la Región Alimentaria de Córdoba.

Los muestreos del presente capítulo siguieron la metodología del Capítulo 2, donde la colecta de inmaduros en el campo tuvo lugar durante la primavera de los años 2016, 2017 y 2018. Larvas de estadios L2, L3, L4 y pupas de *P. xylostella* presentes en 10 plantas al azar fueron colectadas semanalmente de cada uno de los lotes de brasicáceas evaluados en la RAC (Fig. 3.1). Todos los individuos fueron transportados desde el campo al laboratorio en frascos identificados con la fecha de colecta, el productor y el número de lote. Los ejemplares se procesaron en el laboratorio del Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNC.



Figura 3.1 Inmaduros de *Plutella xylostella* colectados en campos de brasicáceas de la RAC para la evaluación del parasitismo A: segundo estadio larval (L2). B: tercer estadio larval (L3). C: cuarto estadio larval (L4) y D: pupa, fotografiados bajo estereomicroscopio del laboratorio del CREAN, lente 2X.

Seguimiento del parasitismo en *Plutella xylostella* en condiciones de laboratorio

Cada ejemplar se colocó en cajas individuales de Petri, donde cada caja se etiquetó con el número de lote, la fecha de recolección, el estado de desarrollo (larva o pupa) y los estadios larvales (L2, L3, L4). En las cajas de Petri que contenían larvas, se colocaron diariamente trozos de brasicéa para alimentarlas hasta que se transformen en pupas. Por su parte las pupas se colocaron individualmente en cajas de Petri con un trozo de brasicéa que le sirvió de sostén. Todas las larvas y pupas se mantuvieron en cámaras de crecimiento a 25 ± 1 °C, con un fotoperíodo de 16:8 horas de L:O y se revisaron todos los días hasta que emergió un adulto de *P. xylostella* o su parasitoide. Los adultos de parasitoides se mantuvieron en la caja de Petri mientras estaban vivos, posteriormente se colocaron en tubos tipo Eppendorf de 5 ml con alcohol al 70% para su identificación taxonómica. Los adultos de parasitoides fueron identificados hasta el nivel de familia utilizando claves taxonómicas usando una lupa estereoscópica. En el orden Hymenoptera se utilizaron claves para las familias Ichneumonidae (Palacio y Wahl, 2006); Braconidae (Campos y Sharkey, 2006); Chalcididae (Delvare y Arias, 2006) y Eulophidae (Schauff *et al.*, 2006). Posteriormente se enviaron ejemplares de parasitoides a especialistas del Museo Bernardino Rivadavia (Buenos Aires) y del Museo de Ciencias Naturales de La Plata para la identificación hasta el nivel de género y/o especie.

Porcentaje de parasitismo

Para la evaluación de parasitismo se descartaron las muestras de inmaduros de PDD muertas. El porcentaje de parasitismo fue calculado de manera general de acuerdo con la fórmula de Ngowi *et al.* (2019) modificada, la cual se presenta a continuación:

Parasitismo total por lote

$$\% \text{ de parasitismo total} = \frac{TPE}{TIC} * 100$$

Donde:

TPE: Total de parasitoides emergidos por lote

TIC: Total de inmaduros de *Plutella xylostella* colectados en cada lote

Parasitismo general y por especie de parasitoide

Se calculó el parasitismo general ocasionado por todos los integrantes del complejo parasítico por año (reuniendo los datos de parasitismo de todos los lotes muestreados en cada año), para así conocer el impacto que ocasionan todos los parasitoides juntos. De igual forma se procedió a calcular el parasitismo ocasionado por cada especie de parasitoide de *P. xylostella* presente en la RAC.

Los datos sobre inmaduros de la PDD (larvas y pupas) y parasitoides se analizaron utilizando Modelos Lineales Generalizados Mixtos (MLGM). Primeramente, se analizó el porcentaje de parasitismo total (parasitoides totales que surgieron de los inmaduros recolectados en el campo) utilizando la variable año como factor fijo y a las variables fechas de colecta como factor aleatorio. En este análisis se empleó un modelo de Poisson con una función de enlace logarítmico. Seguidamente se analizó el porcentaje de parasitismo de cada especie utilizando en primera instancia a la variable especie como factor fijo y en segunda instancia a las variables especie, año y lote como factores fijos. En el análisis del parasitismo se empleó un modelo binomial con un enlace logit. En todos los casos, dado que los datos eran longitudinales, la fecha de muestreo se fijó como factor aleatorio en el modelo. Así mismo en todos los casos, la significación se probó con la prueba F de Wald. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS

Porcentaje de parasitismo

Parasitismo total por lote

La densidad de inmaduros de *P. xylostella* y de parasitoides en los lotes durante los tres años de estudio fue variable (Figs. 3.2, 3.3 y 3.4). En el año 2016 la densidad de *P. xylostella* se mantuvo por debajo de los 4 individuos por planta a excepción de los lotes 4, 6 y 7 donde la densidad registró valores máximos de 15,5, 10,2 y 8,9 respectivamente (Fig. 3.2). En general los valores de densidad de los parasitoides siguieron los patrones de la densidad de *P. xylostella*. En la mayoría de los lotes no superó los 2 individuos salvo en el lote 7 que llegó a 4. El porcentaje de parasitismo fue fluctuando junto con la densidad de *P. xylostella*, a medida que disminuyó la densidad de la PDD el porcentaje de parasitismo se incrementó. En este año los incrementos se registraron hacia el final del periodo de muestreo, en los meses octubre-noviembre e inicios de diciembre. Los máximos valores de parasitismo variaron entre 26 y 100%.

Durante el segundo periodo, año 2017, se observaron menores densidades de *P. xylostella* en todos los lotes con respecto al año anterior (Fig.3.3). La densidad de la PDD se mantuvo por debajo de los 2 inmaduros por planta, excepto en los lotes 11, 12 y 14 donde las máximas densidades fueron entre 3 y 5 individuos para los tres lotes. Las densidades de los parasitoides siguieron el mismo patrón de densidad de la plaga. Sin embargo, los porcentajes de parasitismo se observaron mayores con respecto al periodo anterior. Los picos de parasitismo se presentaron en tres momentos diferentes a lo largo del periodo de las fechas de muestreo o de colecta; el primer momento desde mediados de septiembre hasta finales de noviembre, presente en los lotes 12 y 13 con un porcentaje de parasitismo máximo de 70 y 100% respectivamente. El segundo momento se observó únicamente en el lote 11, con un valor máximo del 70% de parasitismo. El parasitismo se observó una semana después del inicio de los muestreos y terminó una semana antes de finalizar los mismos, finalmente el tercer momento se observó a partir de la 3^{ra} (lote 15) y 4^{ta} (lote 10 y 14) semana de muestreo y finalizó en la

última semana de noviembre cuando finalizaron los muestreos. El porcentaje de parasitismo máximo registrado en el lote 10 fue del 100%, en el 14 del 60% y en el lote 15 del 70%.

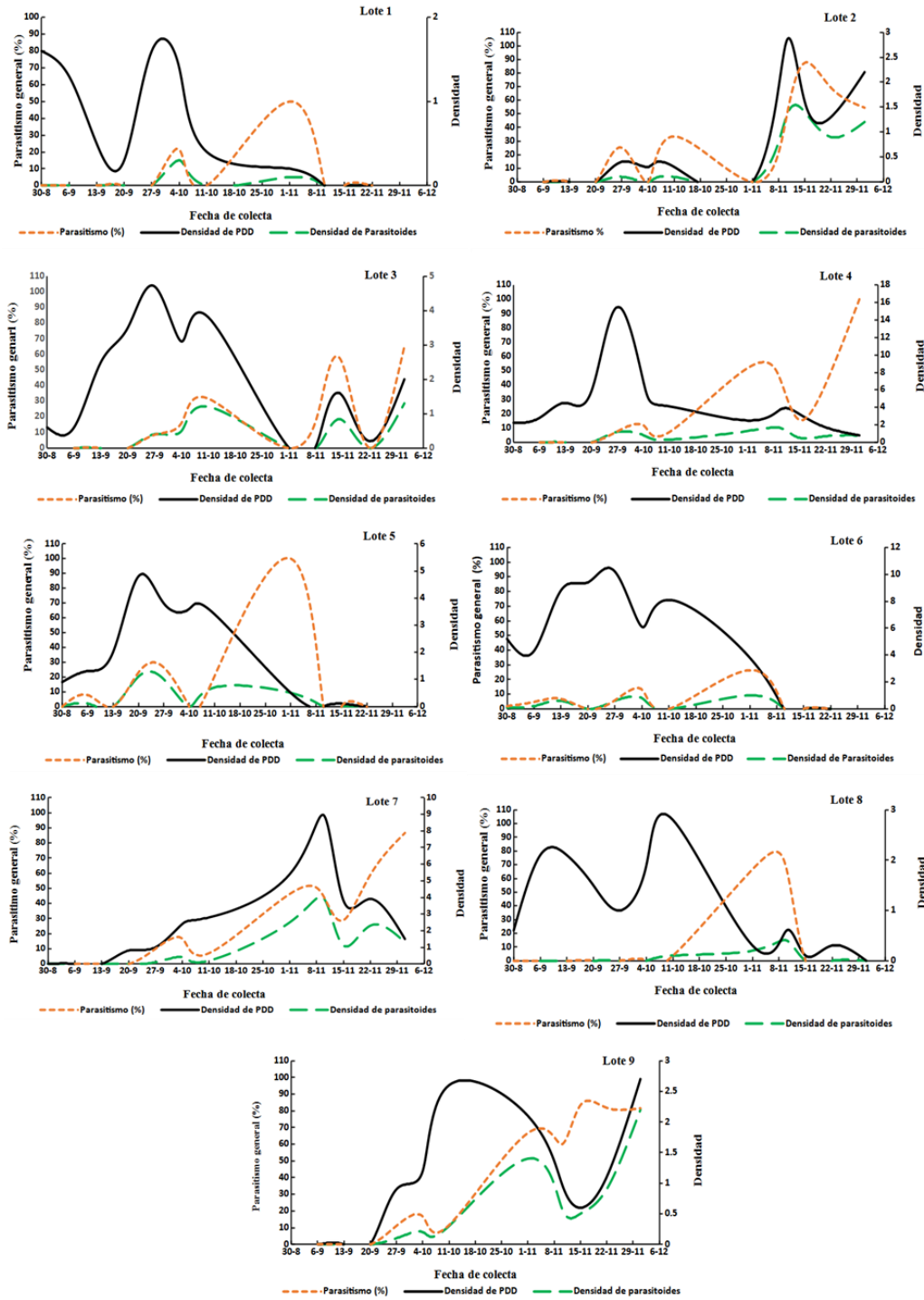


Figura 3.2 Parasitismo general de *Plutella xylostella* en la RAC año 2016

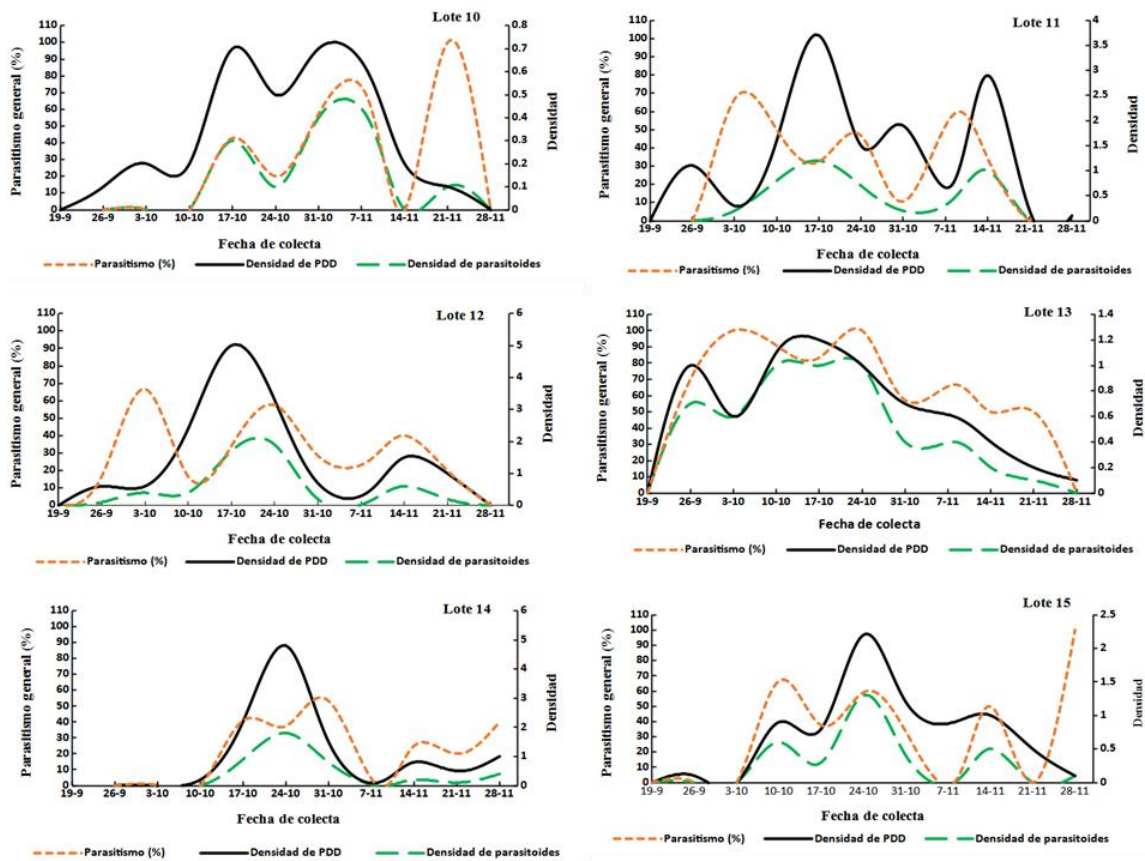


Figura 3.3 Parasitismo general de *Plutella xylostella* en la RAC año 2017

En el tercer periodo de estudio, año 2018, se observaron las mayores densidades de *P. xylostella* comparadas con los años anteriores (Fig.3.4). Estas densidades se observaron hasta la quinta semana de muestreo donde se registraron valores que fluctuaron entre 1,6 a 28,4 inmaduros por planta teniendo en cuenta todos los lotes. La densidad de parasitoides siguió el mismo patrón de la densidad de la PDD excepto en los lotes 16, 22 y 23. Las elevadas densidades de *P. xylostella* registradas en este año provocaron la disminución en el porcentaje de parasitismo comparadas con los años anteriores. Los máximos valores de parasitismo en este año variaron entre 26 y 67%.

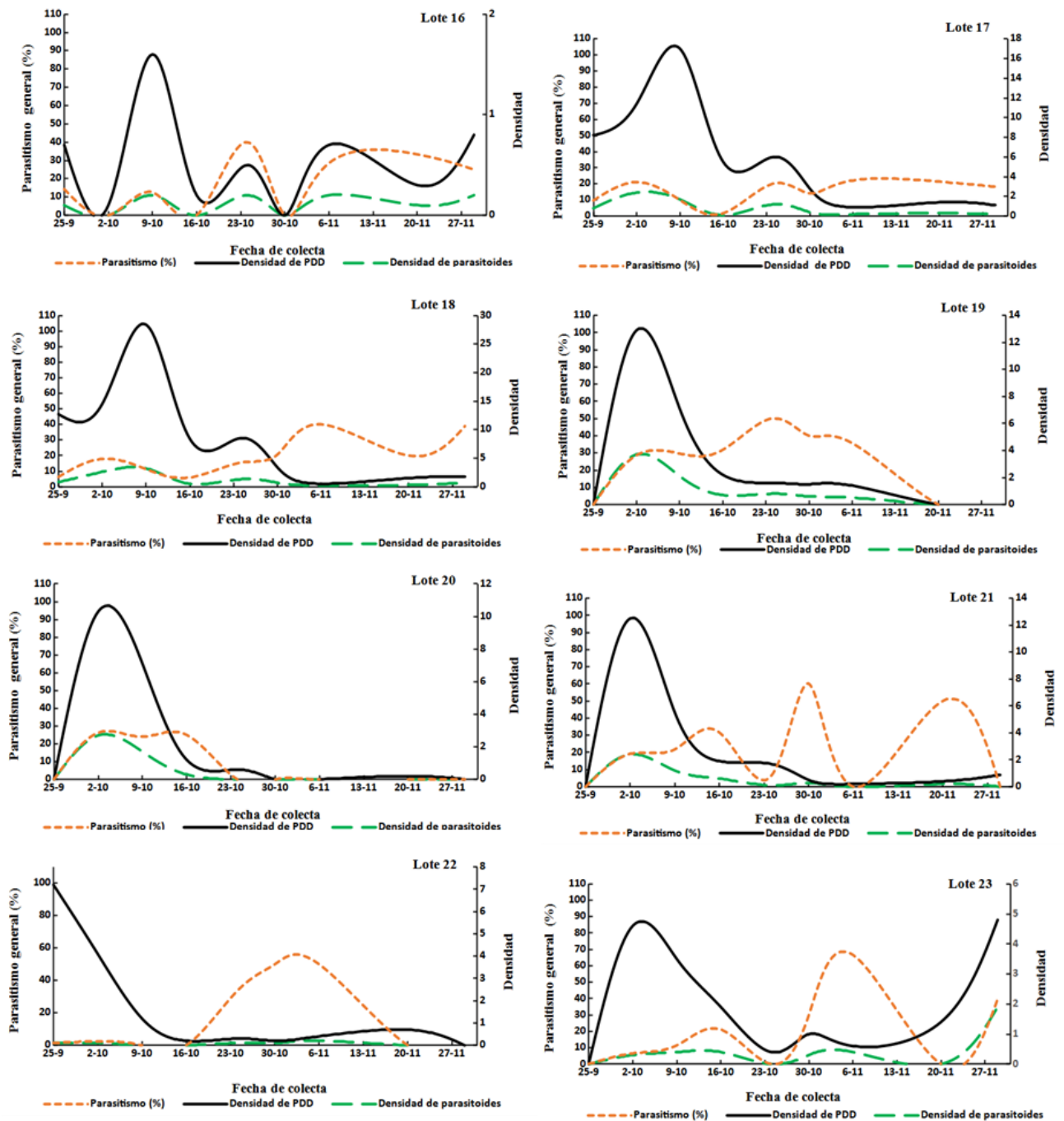


Figura 3.4 Parasitismo general de *Plutella xylostella* en la RAC año 2018

Parasitismo general y por especie de parasitoide

El porcentaje de parasitismo general en los tres años de estudio fue variable, indicando diferencias estadísticamente significativas ($F=4,86$; g. l. = 2; $p= 0,009$) (Tabla 3.1, Fig. 3.5). En el año 2016 se observó un promedio de la proporción del parasitismo de $0,28 \pm 0,06$ y en el año 2018 se observó un promedio de $0,20 \pm 0,05$ indicando la ausencia de diferencias significativas comparando entre estos dos años. Finalmente, en el año 2017 se observó el mayor promedio de proporción de parasitismo, registrándose un valor de $0,52 \pm 0,09$.

Tabla 3.1 Comparación de parasitismo general para los tres años de estudio mediante MLGM.

	g.l	F	P
Año	2	4,86	0,009

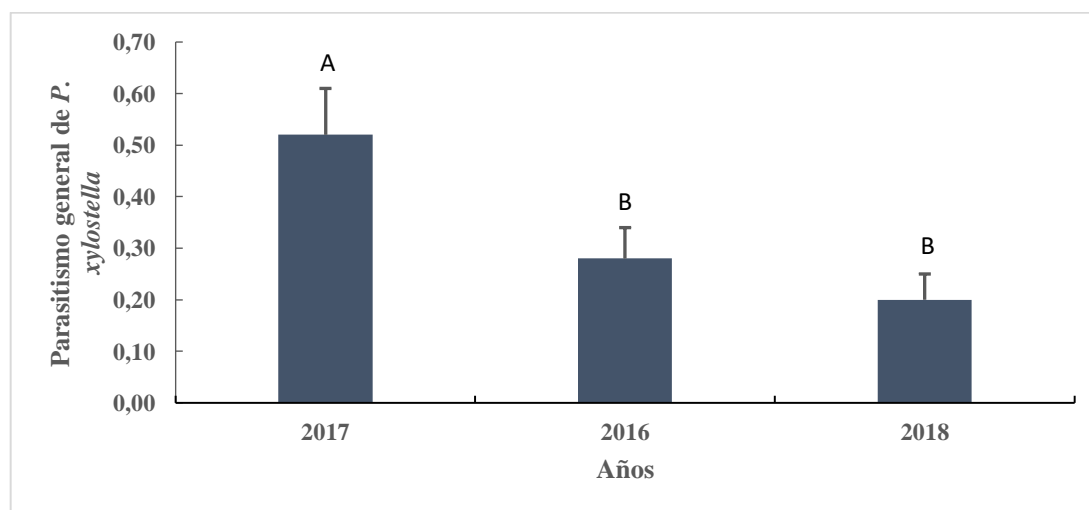


Figura 3.5 Parasitismo general de *Plutella xylostella* en la RAC, años 2016, 2017 y 2018. Letras mayúsculas iguales indican ausencia de diferencias significativas ($p>0,05$)

Complejo parasítico de *Plutella xylostella* en la RAC

Durante los tres años de estudio, se identificaron cuatro especies de parasitoides de dos órdenes y cuatro familias respectivamente, que emergieron de las muestras de inmaduros de esta plaga (Figs.3.6, 3.7, 3.8 y 3.9).

Himenópteros:

Diadegma leontiniae (Ichneumonidae)

Apanteles piceotrichosus (Braconidae)

Oomyzus sokolowskii (Eulophidae)

Díptero:

Siphona sp. (Tachinidae)

También se encontró un hiperparasitoide *Conura pseudofulvovariegate* (Chalcididae) (Fig. 3.10).

Diadegma leontiniae, *A. piceotrichosus* y *Siphona* sp. son parasitoides de larvas. *O. sokolowskii* parasita larvas y pupas, mientras que los pocos ejemplares de *C. pseudofulvovariegate* se encontraron en ocasiones como parasitoide de pupas de *P. xylostella* y también como hiperparasitoide de *A. piceotrichosus* y de *D. leontiniae*, finalmente el díptero *Siphona* sp. fue encontrado parasitando larvas de *P. xylostella*.

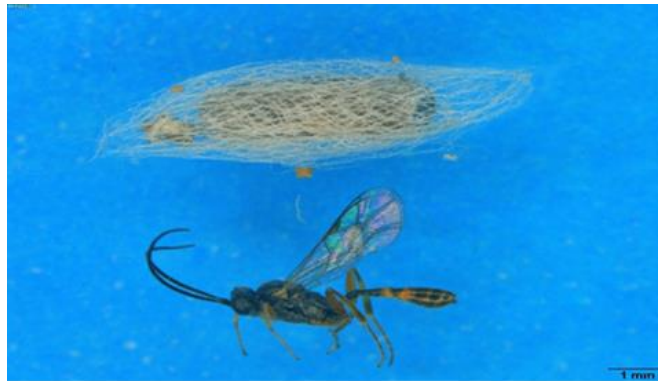


Figura 3.6 Adulto de *Diadegma leontiniae* observado como parasitoide de *Plutella xylostella* en la RAC



Figura 3.7 Adulto de *Apanteles piceotrichosus* observado emergiendo de una pupa formada mientras parasitaba a un inmaduro de *Plutella xylostella*



Figura 3.8 Adultos del parasitoide gregario *Oomyzus sokolowskii* observado luego de haber emergido de una pupa de *Plutella xylostella*.



Figura 3.9 Adulto de *Siphona* sp. observado como parasitoide de *Plutella xylostella* en inmaduros colectados en la RAC.



Figura 3.10 Adulto de *Conura pseudofulvovariiegata* observado como parte del complejo parasítico de *Plutella xylostella* en la RAC

En el año 2016 el promedio de proporción de parasitismo por especie fue variable, indicando diferencias estadísticamente significativas entre las especies de parasitoides ($F=35,69$; $p < 0,0001$) (Tabla 3.2; Fig. 3.11). *Siphona* sp fue el que registró la mayor proporción de parasitismo promedio ($0,23 \pm 0,05$). *Diadegma leontinae* y *A. piceotrichosus* registraron promedios de proporción de parasitismo sin diferencia significativa entre ellas ($0,13 \pm 0,03$ y $0,10 \pm 0,03$, respectivamente). Finalmente, la ausencia de diferencias significativas también se observó entre las especies *C. pseudofulvovariiegata* y *O. zokolowskii* ($0,05 \pm 0,02$; $0,03 \pm 0,01$).

Tabla 3.2 Comparación proporción de parasitismo por especie por año mediante MLGM.

Año	g.l.	F	P
2016	4	35,36	0,0001
2017	4	10,23	0,0001
2018	4	19,85	0,0001

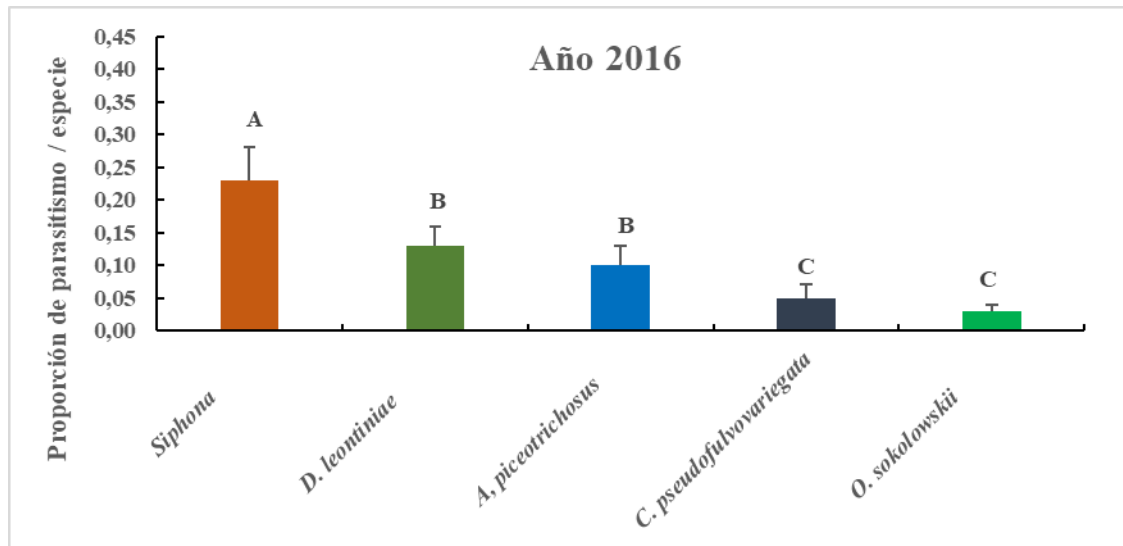


Figura 3.11 Parasitismo general por especie de parasitoide de *Plutella xylostella* en la RAC, año 2016. Letras mayúsculas iguales indican ausencia de diferencias significativas ($p > 0,05$)

En el año 2017 el promedio de proporción de parasitismo por especie fue variable, indicando diferencias significativas entre las especies de parasitoides ($F= 10,23$; $p < 0,0001$) (Tabla 3.2, Fig. 3.12). En este año *Siphona* sp también fue el que registró la mayor proporción de parasitismo promedio ($0,30 \pm 0,04$). Por otro lado, las especies de parasitoides *D. leontinae*, *A. piceotrichosus*, *O. sokolowskii*, *C. pseudofulvovariegata* no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de proporción de parasitismo, siendo los valores $0,18 \pm 0,03$; $0,14 \pm 0,03$; $0,11 \pm 0,03$ y $0,09 \pm 0,04$; respectivamente.

En el año 2018 también se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las especies de parasitoides ($F= 19,85$; $p < 0,0001$) (Tabla 3.2, Fig. 3.13). A diferencia de los dos años anteriores, *D. leontinae* fue el que presentó el mayor promedio de proporción de parasitismo con un valor de $0,12 \pm 0,02$. Le siguió *A. piceotrichosus* con un valor de $0,09 \pm 0,02$. Finalmente, entre las especies *C. pseudofulvovariegata*, *O. sokolowskii* y *Siphona* sp no se observaron diferencias estadísticamente significativas con valores de $0,04 \pm 0,01$; $0,02 \pm 0,01$ y $0,02 \pm 0,01$; respectivamente.

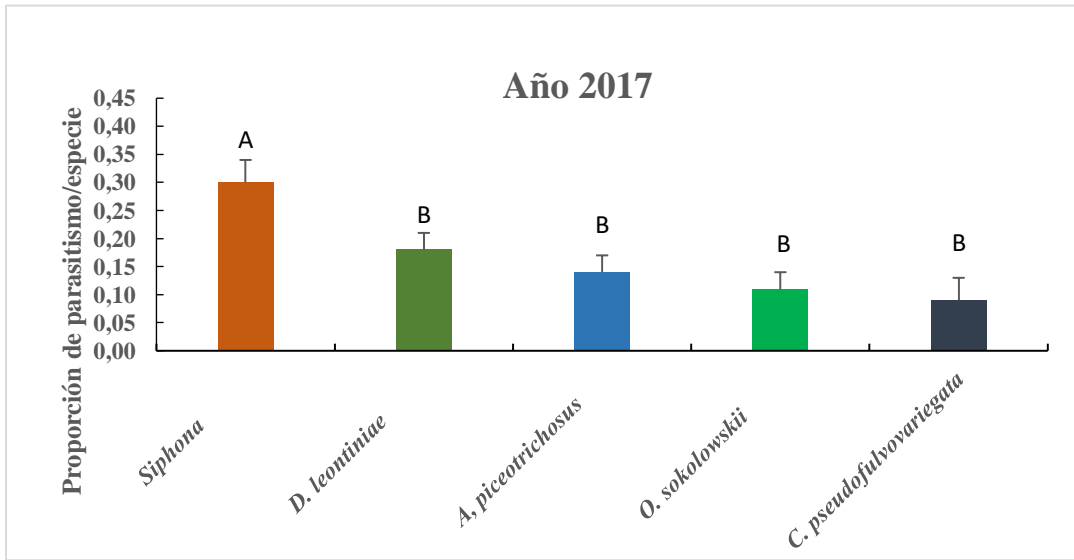


Figura 3.12 Parasitismo general por especie de parasitoide de *Plutella xylostella* en la RAC, año 2017. Letras mayúsculas iguales indican ausencia de diferencias significativas ($p > 0,05$)

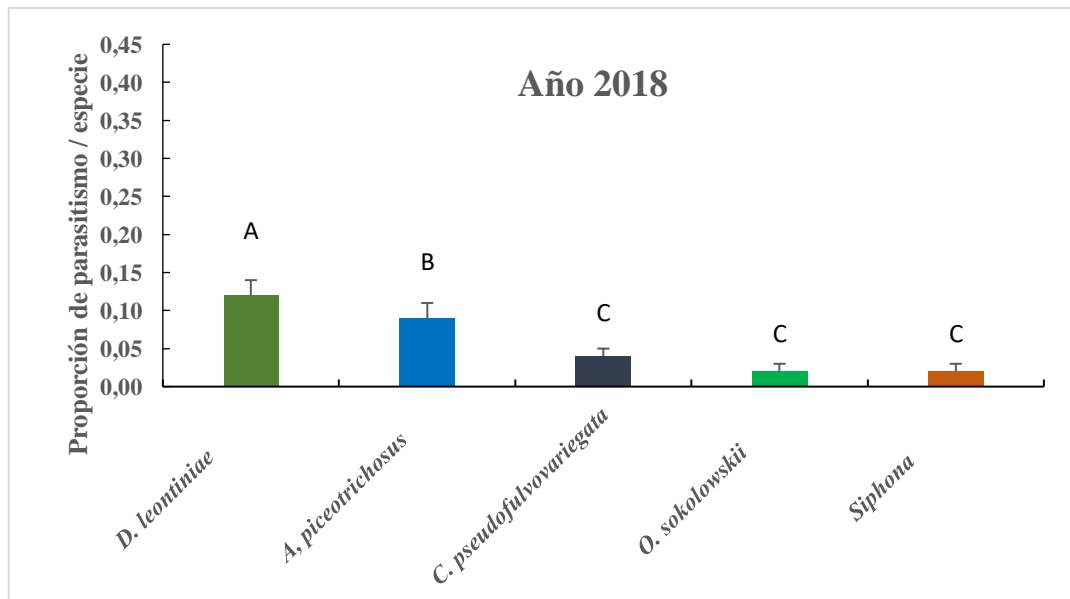


Figura 3.13 Parasitismo general por especie de parasitoide de *Plutella xylostella* en la RAC, año 2018. Letras mayúsculas iguales indican ausencia de diferencias significativas ($p > 0,05$)

Tabla 3.3 Comparación de la proporción de parasitismo por especie para cada lote de brassicácea durante el año 2016. * Indica diferencias significativas en las proporciones de cada especie.

Lote	g.l.	F	p
Lote 1	---	-----	-----
Lote 2	2	13,02	0,0066*
Lote 3	4	1,12	0,3900
Lote 4	4	12,38	0,0001*
Lote 5	2	8,03	0,0275*
Lote 6	3	2,66	0,0925
Lote 7	4	22,83	0,0001*
Lote 8	2	1,79	0,2785
Lote 9	2	27,22	0,0001*

A nivel general se encontró que no todas las especies del complejo parasítico están presentes en todos los lotes (Figs. 3.14, 3.15 y 3.16). En el año 2016, se observaron lotes que presentaron diferencias estadísticamente significativas en el promedio de proporción de parasitismo por especies de parasitoides, como los lotes 2, 4, 5, 7 y 9 ($p < 0,05$) (Tabla 3.3, Fig. 3.14). También se observó la ausencia de diferencias significativas en los lotes 3, 6 y 8 ($p > 0,05$). De los nueve lotes muestreados, se encontró que *Siphona* sp. estuvo presente en todos los lotes, los mayores promedios de las proporciones de parasitismo de esta especie se observaron en los lotes 2 y 9 ($0,57 \pm 0,06$; $0,58 \pm 0,06$; respectivamente). Le sigue *D. leontinae* que estuvo presente en ocho lotes, alcanzando un valor promedio máximo de $0,34 \pm 0,08$ en el lote 4. *Oomyzus sokolowskii* y *A. piceotrichosus* fueron identificados en cinco lotes donde ambas especies registraron una máxima proporción de parasitismo de $0,13 \pm 0,14$ en el lote 8 y $0,14 \pm 0,04$ en el lote 7, respectivamente. Finalmente *C. pseudofulvovariiegata* fue encontrado en cuatro lotes con un promedio máximo de $0,06 \pm 0,07$ en el lote 3 y $0,06 \pm 0,03$ en el lote 4. En los lotes 3, 4 y 7 se encontraron las cuatro especies de parasitoides y el hiperparasitoide. En el lote 3 no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las especies de parasitoides-hiperparasitoide ($F= 1,12$; $p= 0,3913$). Por otro lado, dentro de los lotes 4 y 7 se registraron diferencias estadísticamente significativas ($F= 12,38$; $p < 0,0001$; $F= 22,83$; $p < 0,0001$; respectivamente).

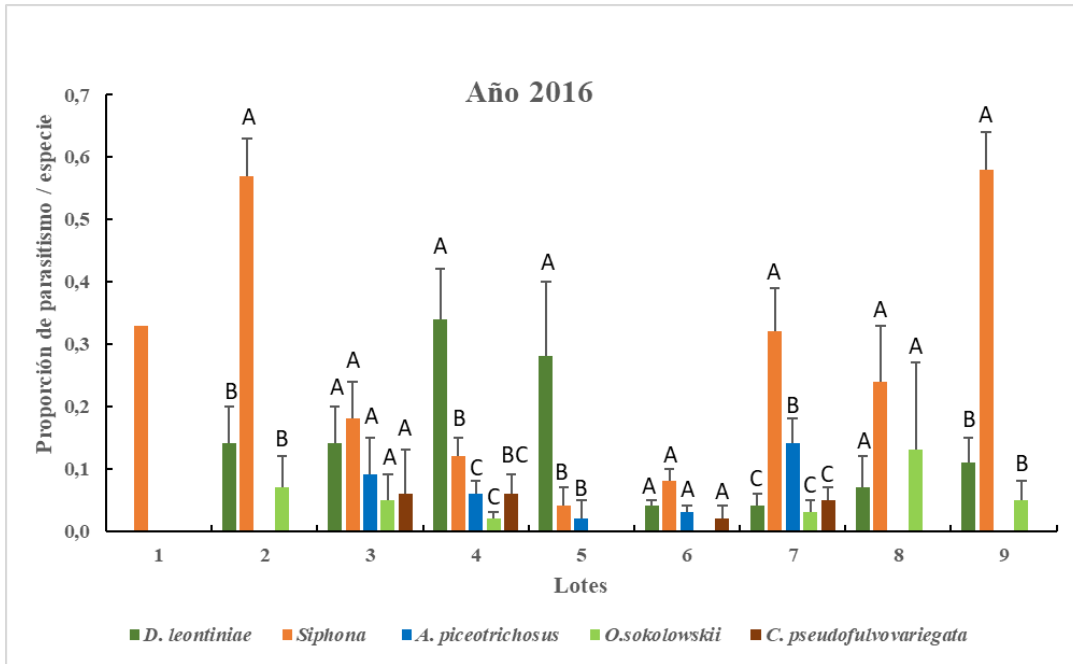


Figura 3.14 Proporción de parasitismo promedio por especie de parasitoide en lotes estudiados en el año 2016. Letras mayúsculas iguales indican ausencia de diferencias significativas ($p > 0,05$) entre especies de parasitoides dentro de cada lote.

Tabla 3.4: Comparación de la proporción de parasitismo por especie para cada lote de brassicácea durante el año 2017. * Indica diferencias significativas en las proporciones de cada especie.

Lote	g. l.	F	p
Lote 10	2	0,16	0,2200
Lote 11	3	3,02	0,0655
Lote 12	3	4,7	0,0196 *
Lote 13	3	10,11	0,0006 *
Lote 14	4	0,88	0,5037
Lote 15	4	1,68	0,2147

En el año 2017 se observaron lotes en cuyo interior se presentaron diferencias estadísticamente significativas en el promedio de proporción de parasitismo por especies de parasitoides, como los lotes 12 y 13 ($p < 0,05$) (Tabla 3.4, Fig. 3.15). En el resto de los lotes (10, 11, 14 y 15) no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en el parasitismo entre especies de parasitoides ($p > 0,05$). Al igual que en el periodo anterior, *Siphona* sp. estuvo

presente en todos los lotes, los mayores promedios de las proporciones de parasitismo de esta especie se observaron en los lotes 10 y 13 con promedios de $0,50 \pm 0,11$ y $0,52 \pm 0,06$, respectivamente. A diferencia del periodo anterior la segunda especie de parasitoide en orden de proporción de parasitismo en este año fue *A. piceotrichosus* cuyo valor máximo promedio de proporción se observó en el lote 10 ($0,21 \pm 0,11$), le sigue *D. leontinae* con un promedio máximo de $0,20 \pm 0,18$ en el mismo lote 10. La especie *O. zokolowskii* estuvo presente en cuatro lotes con un máximo promedio de proporción de parasitismo en el bloque 13 ($0,15 \pm 0,07$), finalmente el hiperparasitoide *C. pseudofulvovariiegata* estuvo presente en tres lotes con un máximo promedio de $0,33 \pm 0,17$ en el lote 11. En los lotes 14 y 15 se observaron las cuatro especies de parasitoides y el hiperparasitoide, mientras en el lote 11 se encontraron tres especies de parasitoides y el hiperparasitoide, finalmente en el lote 10 se observaron tres especies de parasitoides y no se observó el hiperparasitoide.

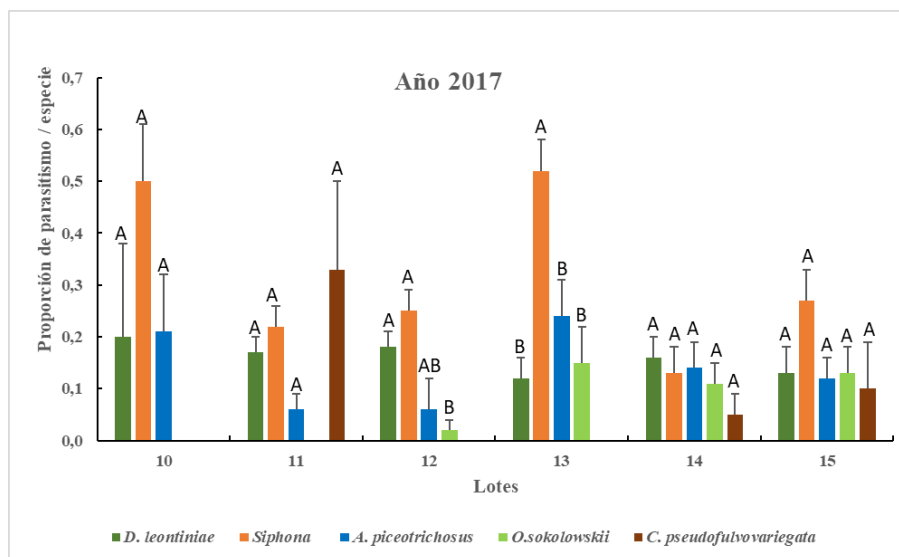


Figura 3.15 Proporción de parasitismo promedio por especie de parasitoide en lotes estudiados en el año 2017. Letras mayúsculas iguales indican ausencia de diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre especies de parasitoides dentro de cada lote.

Tabla 3.5: Comparación de la proporción de parasitismo por especie para cada lote de brasicácea durante el año 2018. * Indica diferencias significativas en las proporciones de cada especie.

Lote	g. l.	F	P
Lote 16	2	0,21	2,300
Lote 17	2	12,17	0,0011*
Lote 18	4	6,54	0,0022*
Lote 19	4	6,87	0,0050*
Lote 20	4	4,53	0,05*
Lote 21	1	0,6	0,4653
Lote 22	4	0,59	0,59856
Lote 23	4	2,06	0,1400

En el año 2018, al igual que en los dos periodos anteriores se observaron lotes que presentaron diferencias estadísticamente significativas en el promedio de proporción de parasitismo por especies de parasitoides, en el interior de los lotes (17, 18,19 y 20) ($p < 0,05$) (Tabla 3.5, Fig.3.16). En los lotes 16, 21, 22 y 23 no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). A diferencia de los dos periodos anteriores, las dos especies de parasitoides que estuvieron presentes en todos los lotes estudiados fueron *D. leontinae* y *A. piceotrichosus* con promedios máximos de proporción de parasitismo para *D. leontinae* de $0,15 \pm 0,03$ en el lote 20 y *A. piceotrichosus* de $0,15 \pm 0,02$ en el lote 19, mientras *Siphona* sp. en este periodo estuvo presente en seis lotes con un promedio máximo de proporción de parasitismo de $0,26 \pm 0,12$ en el lote 22. El parasitoide *O. zokolowskii* estuvo presente en cuatro lotes con un promedio máximo de $0,05 \pm 0,03$ en el lote 18. Finalmente, el hiperparasitoide *C. pseudofulvovariegata* estuvo presente en cuatro lotes con un promedio máximo de proporción de parasitismo de $0,19 \pm 0,10$ en el lote 19. En tres de los ocho lotes estudiados en este periodo (18, 19 y 23) se observaron las cuatro especies de parasitoides y el hiperparasitoide. En los lotes 16, 17 y 22 se observaron 3 especies de parasitoides, por su parte en el lote 20 se observaron 3 especies de parasitoides y el hiperparasitoide. Finalmente, en el lote 21 sólo se observaron dos especies de parasitoides.

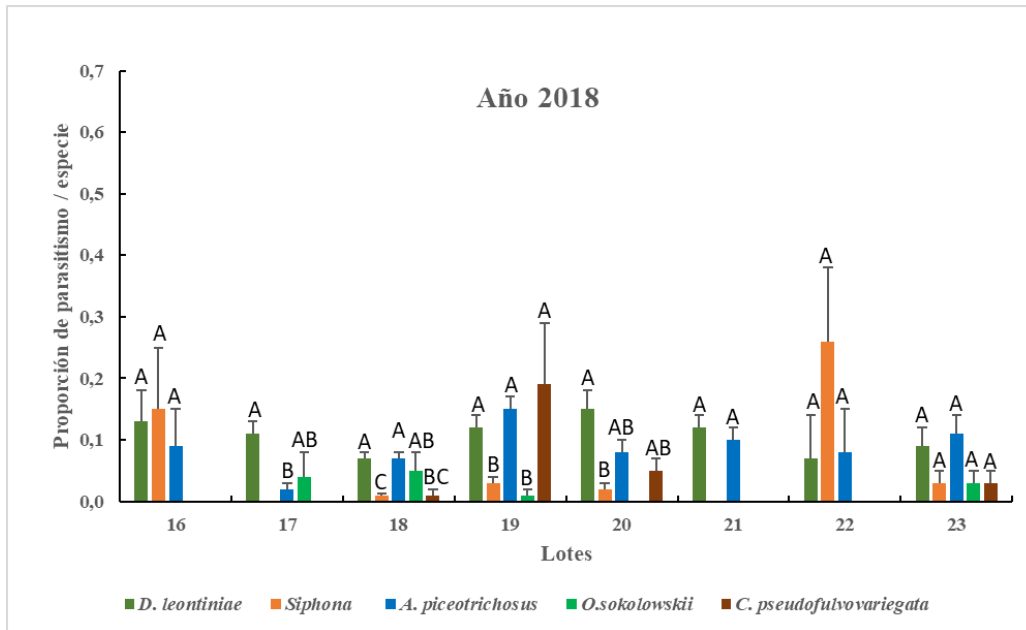


Figura 3.16 Proporción de parasitismo promedio por especie de parasitoide en lotes estudiados en el año 2018. Letras mayúsculas iguales indican ausencia de diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre especies de parasitoides dentro de cada lote.

DISCUSIÓN

El presente capítulo hace énfasis en aportar al conocimiento del Control Biológico por Conservación (CBC). El CBC pretende maximizar el impacto de los enemigos naturales locales en lugar de aceptar los costos y riesgos de introducir y liberar agentes exógenos. La aplicación del CBC se consigue con la reducción de la mortalidad de los enemigos naturales provocada por el uso de pesticidas y con la manipulación del hábitat para mejorar la disponibilidad local de recursos como alimento, refugio y huéspedes alternativos, a nivel de finca ó parcela donde se ubican los lotes. Por ello para desarrollar un CBC eficiente es necesario describir y comparar la composición taxonómica, fluctuación de las densidades y porcentaje de parasitismo del complejo parasítico de una plaga en un determinado lugar.

Al analizar el parasitismo total de *P. xylostella* en toda la región de estudio, se observó que este fue variable en los distintos años con porcentajes de parasitismo que variaron entre el 52 % en el año 2017, 28 % en 2016 hasta el 20 % en 2018. La variabilidad temporal del parasitismo observada en nuestra zona de estudio coincide con lo reportado en otras regiones del mundo. Por ejemplo, un estudio en la provincia de Santa Fe se observó un parasitismo del 59,37 % (Bertolaccini *et al*, 2010), en la región de Brasilia se reportó un parasitismo total en lotes de crucíferas del 23,5 % (Guilloux *et al.*, 2003), mientras que en un estudio similar en Chile se informaron valores del 79 y del 86 % (Muriel y Grez, 2003). En Polonia se informó de un parasitismo general que osciló entre el 60 y el 90,3% (Jankowska y Wiech, 2006), mientras en Etiopia se encontró un parasitismo general entre 3,6 y 79,5%, con grandes diferencias entre las zonas de estudio (Ayalew y Ogol, 2006) . Esta variabilidad entre años nos permitiría suponer que el parasitismo está mediado por factores locales entre los cuales el manejo de los cultivos y de la huerta en general es probable que juegue un rol fundamental. Cuando analizamos el porcentaje de parasitismo se observó un efecto local en la densidad y la dinámica de las diferentes especies. En la mayoría de los lotes la proporción de parasitismo fue menor a finales del invierno aumentando hasta llegar a los valores más elevados a mediados de la primavera. Por su parte la densidad de inmaduros de *P. xylostella* en los lotes presentó en general patrones inversos; en los momentos con mayor porcentaje de parasitismo la densidad de inmaduros es

menor. Si bien esto se observó durante los tres años de muestreo, durante el primer y el tercer año fue más evidente. La relación entre la densidad de la plaga y la densidad de sus enemigos naturales resulta fundamental a la hora de diseñar una estrategia de control biológico (Murdoch y Oaten, 1975). Es probable que la disminución de la plaga a mediados de la primavera se deba en parte al incremento de la densidad de los enemigos naturales que se encuentran en el lote. Entender como los parasitoides responden a los cambios de la densidad de su huésped es fundamental para cualquier descripción sobre parasitismo, precisamente porque el número de individuos parasitados determinan el desarrollo, supervivencia y reproducción de los parasitoides (Murdoch y Oaten, 1975).

Los patrones de crecimiento y disminución de las densidades de *P. xylostella* y su complejo parasítico fueron coincidentes. Estos resultados coinciden con lo descrito por Sow *et al.* (2013) quienes observaron que en general, la densidad de poblaciones de enemigos naturales aumenta con las poblaciones de hospedadores. Cuando se analizó la densidad por especies, observamos que las tres especies de parasitoides más abundantes durante todo el período de muestreo en la RAC de la ciudad de Córdoba fueron *Siphona* sp. (Diptera: Tachinidae), *Diadegma leontinae* (Hymenoptera: Ichneumonidae) y *Apanteles picetrichosus* (Hymenoptera: Braconidae), seguidas dependiendo del año de colecta por *Conura pseudofulvovariegata* (Hymenoptera: Chalcididae) y *Oomyzus sokolowskii* (Hymenoptera: Eulophidae) (Primer y tercer año de colecta) o viceversa (segundo año de colecta). La proporción de parasitismo en toda el área de estudio mostró que en *Siphona* sp. aportó más del 20% del total de parasitismo (un valor medio del 23% en el año 2016 y 30% en el 2017), seguido de *D. leontinae* con un total superior al 15% (valor medio de 13% en el primer año y un 18% en el segundo año). En tercer lugar, se encontró *A. picetrichosus* con un total de parasitismo superior al 10% (10% en el 2016 y 14% en el 2017). Sin embargo, esta situación fue diferente para el año 2018. En este año *D. leontinae* fue la especie que presentó mayor porcentaje de parasitismo (12%) seguida de *A. picetrichosus* (9%) y de *C. pseudofulvovariegata* (4%). Las principales especies aquí encontradas: *Siphona* sp., *D. leontinae* y *A. picetrichosus*, fueron encontradas también como los principales parasitoides de *P. xylostella* en el sur del Brasil (Marchioro, 2011; Marchioro y Foerster, 2016).

Es importante destacar que los ciclos de vida y rango de hospedadores de las especies de parasitoides que se encontraron en la RAC de la ciudad de Córdoba son diferentes, y hasta complementarios. *Diadegma* es un género con aproximadamente 201 especies (Yu y Horstmann, 1997), varias de las cuales se han introducido para el control biológico de plagas de lepidópteros en todo el mundo, principalmente para *Plutella xylostella* (Sarfraz *et al.*, 2005). En general la mayoría de las especies de *Diadegma* son específicas del hospedador. Los hospedadores habituales son los microlepidópteros. Por ejemplo, *D. fabriciana* está esencialmente restringida a *Anthophila fabriciana*, una polilla que se alimenta de ortigas (Horstmann y Shaw, 1984). Las especies de *Diadegma* que sin duda tienen más de un hospedador en la naturaleza suelen tener algún factor común que las vincula. *D. chrysostictos* es una especie de este tipo, que parasita a un pequeño número de polillas pirálidas que viven en un nicho estrechamente definido (Horstmann y Shaw, 1984). Entre las especies de este género que parasitan a *P. xylostella* de manera comprobada se pueden mencionar a *Diadegma semiclausum* y *Diadegma fenestrata* en Europa (Santolamazza *et al.*, 2013), Asia y África, *Diadegma mollipla* en África, *Diadegma insulare* en América del Norte, Central y parte de América del Sur, *Diadegma novaezealandiae* en Nueva Zelanda, *Diadegma rapi* en Australia y finalmente *Diadegma leontiniae* en América del Sur, concretamente en Brasil, Uruguay, Argentina y Chile (Azidah *et al.*, 2000; Furlong *et al.*, 2013). *Apanteles* es un género de Braconidae que también cuenta con numerosas especies que parasitan a *P. xylostella*. Por ejemplo, *Apanteles eriophyes* Nixon (Braconidae) es una especie específica de *P. xylostella* presente en Sudáfrica (Kfir, 1997) o *Apanteles piceotrichosus* también específico de *P. xylostella* presente en Brasil (Guilloux *et al.*, 2003; Gonçalves y Di Mare, 2005; Marchioro, 2011; Marchioro y Foerster, 2016) y Argentina (Espinoza y Grilli, 2019).

Finalmente, completando el grupo de himenópteros parasitoides de *P. xylostella* se encuentran *O. sokolowskii* y *C. pseudofulvovariata*. Como señalamos en la introducción, *O. sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae) es un parasitoide gregario, hasta 20 individuos pueden completar su desarrollo en un hospedador, pero normalmente sólo se desarrollan entre 8-10 individuos. Es un endoparasitoide larvo-pupal y su ciclo de vida se desarrolla íntegramente en el interior de las larvas de *P. xylostella*. Está adaptado a condiciones

de alta temperatura por lo que ha sido introducido en zonas tropicales y subtropicales para controlar la PDD (Ooi, 1988; Talekar y Hu, 1996; Liu *et al.*, 1997). *Oomyzus sokolowskii* sólo parasita las larvas de *P. xylostella* y normalmente emerge de las pupas. Las larvas parasitadas se momifican antes de la pupación y los parasitoides emergen de ellas. En raras ocasiones, *O. sokolowskii* también puede emerger de pupas de *Cotesia plutellae* (Lim, 1992), *A. picetrichosus* ó *D. leontinae* (Guilloux *et al.*, 2003). En estos casos actúa como hiperparasitoide. Esta especie se ha introducido en muchos países para el control biológico de *P. xylostella*. *Conura pseudofulvovariegata* ha sido citado parasitando a *P. xylostella* en la región de Brasilia. Su rango de hospedadores incluye a lepidópteros como *Tuta absoluta* y *P. xylostella*, y también, como señalamos en la introducción hiperparasitando larvas de lepidópteros ya parasitados por *Apanteles* sp., *Cotesia* sp., *Diadegma insulare*, y *Diadegma leontinae* (Delvare, 1992; Guilloux *et al.*, 2003; Maires, 2020).

Un caso diferente es el de *Siphona* sp. Este Taquínido solo es citado por la bibliografía parasitando a *P. xylostella* en América del Sur. A diferencia de las especies de himenópteros que parasitan a *P. xylostella*, *Siphona* sp. es generalista. Es cosmopolita encontrándose presente en varios continentes (O'Hara, 1982, 1989). En nuestro continente están identificadas al menos 16 especies al norte de México y 11 más en cinco subgéneros adicionales en América Central (O'Hara *et al.*, 2021). Este género fue mencionado para la provincia de Córdoba por Ávalos (1989), más precisamente se identificó como *Siphona geniculata*. Esta especie es un parasitoide europeo de larvas de tipúlidos parasitando también varias especies de Noctuidae (Guimarães, 1977). Fue introducido en el continente americano como agente de control biológico. En Argentina también se ha citado parasitando Lepidoptera: Noctuide más precisamente (Gramajo, 1998). En Brasil es citado parasitando a *P. xylostella* (Marchioro, 2011; Marchioro y Foerster, 2016). Esta diferencia en el rango de hospedadores, entre *Siphona* sp. y el resto de los himenópteros permite explicar la variación en las densidades absolutas, y la tasa de parasitismo de las diferentes especies encontradas en la RAC. Es muy probable que esté ligada al manejo realizado en los lotes que implicó la variación del uso de insecticidas entre años (com. pers. Lóndero). Este manejo diferencial pudo haber provocado el aumento del parasitismo por parte de *D. leontinae* y, a su vez, la disminución de *Siphona* sp. por la disminución de los otros

hospedadores de este último. La alta variabilidad entre campos de las tasas de parasitismo indica que el manejo de los cultivos, especialmente el uso de insecticidas, conjuntamente con el contexto del paisaje, por ejemplo, hábitats seminaturales o cultivos que proporcionan alimento o huéspedes alternativos a los parasitoides, podría influir en el biocontrol por parte de los enemigos naturales.

En términos generales se puede afirmar que el complejo de parasitoides descrito en esta tesis se comporta de forma similar al observado con *P. xylostella*, es decir, cada sitio parece tener poblaciones locales de parasitoides en términos de densidades y en términos de composición por especies. La colonización de los lugares en los que está presente la plaga dependerá de la proximidad a otros parches hospedadores que ya tengan las especies de parasitoides en particular y del comportamiento de dispersión de cada una. Diversos autores han demostrado las consecuencias que la dispersión puede tener sobre la persistencia y la dinámica de las poblaciones locales (Levins, 1969; Tilman y Kareiva, 1997; Hanski y Gaggiotti, 2004). Son muchos los factores identificados que influyen en el comportamiento de dispersión de los parasitoides. Entre ellos se encuentran factores extrínsecos como el clima (Corbett *et al.*, 1996, Sallam *et al.*, 2001) y los atributos del hábitat (Lei y Camara, 1999; De Freitas *et al.*, 2012), o factores intrínsecos como el acceso al alimento o a los hospedadores (Hougaard y Mills, 2006; Fahrner *et al.*, 2014). Afectadas por todos estos factores, algunas especies de parasitoides tienden a dispersarse solo hasta decenas de metros por generación (Zappalà *et al.*, 2012; Avila *et al.*, 2013; Weisser *et al.*, 1997; Pickett y Pitcairn, 1999; Darrouzet *et al.*, 2006), mientras que otras se dispersan cientos de metros o incluso varios kilómetros o más (Antolin y Strong, 1987; Schellhorn *et al.*, 2008).

Una especie de parasitoide con una gran capacidad de dispersión puede propagarse rápidamente en nuevos entornos tras su liberación inicial (Day *et al.*, 2000). En un trabajo realizado por Evans (2018) descubrió que el pequeño parasitoide, *Tetrastichus julis*, se dispersaba cientos de metros en trigo recién plantado, y en algunos casos se dispersaba incluso más que la plaga hospedadora (Evans, 2018). En el mismo estudio, el Ichneumonido *Bathyplectes curculionis*, se dispersó alrededor de 700 m en un campo de alfalfa parasitando

casi el 84% de su hospedador (Evans, 2018). Estos resultados presentados por Evans (2018) muestran el papel clave de la capacidad de dispersión de una especie de parasitoide y su habilidad para colonizar el hábitat recién plantado y descubrir más individuos hospedadores, aunque se den en una densidad muy baja. En el caso de *Diadegma semiclausum*, una especie de parasitoide muy cercana a una de las especies que encontramos en el campo, Schellhorn *et al.* (2008) descubrió que este parasitoide se desplazaba desde el refugio de floración hasta cultivos situados a más de 100 m. En los casos en los que la capacidad de dispersión del parasitoide es limitada en comparación con la capacidad de dispersión de su hospedador, se observarán tasas más bajas de parasitismo en poblaciones nuevas y alejadas del hospedador (por ejemplo, Kruess y Tschardtke, 1994, 2000; Maron y Harrison, 1997; Maron *et al.*, 2001). En esos casos, la fuerza de la interacción entre especies podría verse comprometida por el desfase entre la llegada de la plaga a un nuevo hábitat y la llegada de su parasitoide.

En la Provincia de Santa Fe-Argentina se encontraron ejemplares de Ichneumonidae, Braconidae, Eulophidae y Chalcididae, parasitando diferentes estadios de PDD, sin embargo, no se reportó ningún parasitoide representante de la familia Tachinidae. De todos modos, más allá de las variaciones en las tasas relativas de cada especie, es evidente, que a lo largo de los tres años de muestreo las especies del complejo de parasitoides estuvieron presentes en todos los lotes. Estos resultados, destacan que, a pesar de que la RAC es un área heterogénea, sin una continuidad espacial en términos de uso de la tierra, las especies de parasitoides han logrado colonizar toda el área estando presentes en toda la región.

Nuestros resultados tienen varias implicaciones prácticas entre las que destacamos el conocer la composición del complejo parasítico de *P. xylostella* en la RAC siguiendo la dinámica natural de dicho complejo en campos de cultivos comerciales. El conocimiento generado sobre el complejo parasítico abre la posibilidad de establecer un manejo integrado de la PDD, haciendo uso de los parasitoides presentes en la localidad. Todavía queda mucho trabajo por hacer, en particular en relación con *Siphona* sp, empezando por la identificación de la especie y sería importante determinar si se trata de un parasitoide específico de *P. xylostella* como los otros himenópteros, o si es un generalista que parasita oportunamente a *P. xylostella*.

CONCLUSIONES

- Cuatro especies de parasitoides (*Siphona* sp, *D. leontinae*, *A. piceotrichosus*, y *O. sokolowskii*) y un hiperparasitoide facultativo (*C. pseudofulvovariegata*) constituyen el complejo parasítico de *Plutella xylostella* en la RAC.
- La variación de la densidad de las diferentes especies de parasitoides de *Plutella xylostella* se comportó de forma independiente en los lotes estudiados.
- La conformación del complejo de parasitoides fue similar en los tres años, sin embargo, el porcentaje de parasitismo fue considerablemente variable.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Antolin, M., y Strong, D. (1987). Long-distance dispersal by a parasitoid (*Anagrus delicatus*, Mymaridae) and its host. *Oecologia* (Berlin), 73, 288–292.
- Ávalos, S. (1989). Moscas Tachinidae de la Provincia de Córdoba (Argentina). *Revista Peruana de Entomología*, 31, 48–50.
- Avila, G., Berndt, L., y Holwell, G. (2013). Dispersal behavior of the parasitic wasp *Cotesia urabae* (Hymenoptera: Braconidae): A recently introduced biocontrol agent for the control of *Uraba lugens* (Lepidoptera: Nolidae) in New Zealand. *Biological Control*, 66(3), 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.05.008>
- Ayalew, G., y Ogot, C. (2006). Occurrence of the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) and its parasitoids in Ethiopia: Influence of geographical region and agronomic traits. *Journal of Applied Entomology*, 130(6–7), 343–348. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2006.01078.x>
- Azidah, A., Fitton, M., y Quicke, D. (2000). Identification of the *Diadegma* species (Hymenoptera: Ichneumonidae, Campopleginae) attacking the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of Entomological Research*, 90(5), 375–389. <https://doi.org/10.1017/S0007485300000511>
- Bertolaccini, I., Sánchez, D., y Arregui, C. (2010). Incidencia de algunos factores naturales de mortalidad de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), en el área centro-este de Santa Fe, Argentina. *Horticultura Argentina*, 29(68), 20–24.
- Bertolaccini, I., Sánchez, D., Arregui, M., Favaro, J., y Theiler, N. (2011). Mortality of *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Plutellidae) by parasitoids in the Province of Santa Fe, Argentina. *Revista Brasileira de Entomologia*, 55(3), 454–456.
- Campos, D., y Sharkey, M. (2006). Familia Braconidae. In F. Fernández y M. Sharkey (Eds.), *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical* (pp. 331–384). Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia.
- Corbett, A., y Rosenheim, J. (1996). Quantifying movement of a minute parasitoid, *Anagrus epos* (Hymenoptera: Mymaridae), using fluorescent dust marking and recapture. *Biological Control*, 6(1), 35–44. <https://doi.org/10.1006/bcon.1996.0005>

- Cortez, E., y Macías, J. (2007). Parasitismo natural de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* L. en canola (*Brassica napus* L.), en el norte de Sinaloa, México. *Agrociencia*, 41(3), 347–354.
- Curis, M., Bertolaccini, I., Lutz, A., y Favaro, J. (2019). Estado del MIP de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) en Argentina. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 18(2), 7–18. <https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.8780>
- Darrouzet, A., Hoopes, M., Walker, J., y Briggs, C. (2006). Dispersal and foraging behaviour of *Platygaster californica*: Hosts can't run, but they can hide. *Ecological Entomology*, 31(4), 298–306. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2006.00798.x>
- Day, W., Tilmon, K., Romig, R., Eaton, A., y Murray, K. (2000). Recent range expansions of *Peristenus digoneutis* (Hymenoptera: Braconidae), a parasite of the tarnished plant bug (Hemiptera: Miridae), and high temperatures limiting its geographic distribution in North America. *Journal of the New York Entomological Society*, 108(3), 326–331. [https://doi.org/10.1664/0028-7199\(2000\)108\[0326:rreopd\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1664/0028-7199(2000)108[0326:rreopd]2.0.co;2)
- De Freitas, R., Parra, J., y De Freitas, A. (2012). *Trichogramma pretiosum* parasitism and dispersal capacity: A basis for developing biological control programs for soybean caterpillars. *Bulletin of Entomological Research*, 102(1), 1–8. <https://doi.org/10.1017/S0007485311000289>
- Delvare, G. (1992). A reclassification of the Chalcidini with a checklist of the New World species. *Memoirs of the American Entomological Institute*, 53, 119–466.
- Delvare, G., y Arias, D. (2006). Familia Chalcididae. In F. Fernández y M. Sharkey (Eds.), *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical* (pp. 647–660). Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. (2020). *InfoStat*. Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar/>
- Espinoza, R., y Grilli, M. (2019). First record of the spatio-temporal variation of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoids complex in the horticultural area of Córdoba city in central Argentina. *Biological Control*, 133, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.02.017>
- Evans, E. (2018). Dispersal in host–parasitoid interactions: Crop colonization by pests and

- specialist enemies. *Insects*, 9(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/insects9040134>
- Fahrner, S., Lelito, J., Blaedow, K., Heimpel, G., y Aukema, B. (2014). Factors affecting the flight capacity of *Tetrastichus planipennis* (Hymenoptera: Eulophidae), a classical biological control agent of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae). *Environmental Entomology*, 43(6), 1603–1612. <https://doi.org/10.1603/EN14139>
- Furlong, M., Wright, D., y Dosdall, L. (2013). Diamondback moth ecology and management: Problems, progress, and prospects. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 517–541. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605>
- Furlong, M., y Zalucki, M. (2007). Parasitoid complex of diamondback moth in south-east Queensland: First records of *Oomyzus sokolowskii* (Hymenoptera: Eulophidae) in Australia. *Australian Journal of Entomology*, 46(2), 167–175. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2007.00572.x>
- Gonçalves, R., y Di Mare, R. (2005). Biología da traça das crucíferas, *Plutella xylostella* Linnaeus (Lepidoptera, Yponomeutidae), sob condições controladas de temperatura, e parasitóides associados. Part III. Estudo sobre a biologia de *Apanteles piceotrichosus* (Blanchard) (Hyme. *Revista Brasileira de Zoologia*, 22(3), 806–809. <https://doi.org/10.1590/s0101-81752005000300045>
- Gramajo, C. (1998). Lista preliminar de las Tachinidae (Diptera) de la Patagonia argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 57(1–4), 91–99.
- Grilli, M., Pecorari, M., y Bruno, M. (2015). Dinámica de la polilla de las coles, *Plutella xylostella* y su complejo de parasitoides en lotes hortícolas de la ciudad de Córdoba. *IX Congreso Argentino de Entomología*, 173.
- Guilloux, T., Monnerat, R., Castelo, M., Kirk, A., y Bordat, D. (2003). Population dynamics of *Plutella xylostella* (Lep., Yponomeutidae) and its parasitoids in the region of Brasilia. *Journal of Applied Entomology*, 127(5), 288–292. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2003.00746.x>
- Guimarães, J. (1977). Host-parasite and parasite-host catalogue of South American Tachinidae (Diptera). *Arquivos de Zoologia*, 28(3), 1–131. <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7793.v28i3p1-131>
- Gurr, G., Reynolds, O., Johnson, A., Desneux, N., Zalucki, M., Furlong, M., Li, Z., Akutse, K.,

- Chen, J., Gao, X., y You, M. (2018). Landscape ecology and expanding range of biocontrol agent taxa enhance prospects for diamondback moth management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(6), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0539-x>
- Hanski, I., y Gaggiotti, O. (2004). *Ecology, Genetics, and Evolution of Metapopulations*. Elsevier Inc.
- Hasanshahi, G., Abbasipour, H., Askarianzadeh, A., Karimi, J., Jahan, F., y Rahimi, A. (2014). Situation of the diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* and Its parasitoids in the cauliflower fields of Tehran. *Annual Research & Review in Biology*, 4(3), 473–486. <https://doi.org/10.9734/arrb/2014/5466>
- Hasanshahi, G., Abbasipour, H., Jahan, F., Askarianzadeh, A., Karimi, J., y Rahimi, A. (2014). Natural parasitism of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lep.: Plutellidae) by a larval parasitoid wasp, *Diadegma anurum* on different cauliflower cultivars. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47(4), 456–463. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.812285>
- Horstmann, K., y Shaw, M. (1984). The taxonomy and biology of *Diadegma chrysostictos* (Gmelin) and *Diadegma fabricianae* sp.n. (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Systematic Entomology*, 9(3), 329–337. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.1984.tb00057.x>
- Hougaard, E., y Mills, N. (2006). The influence of host deprivation and egg expenditure on the rate of dispersal of a parasitoid following field release. *Biological Control*, 37(2), 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.09.001>
- Jankowska, B., y Wiech, K. (2006). The composition and role of parasitoids in reducing population densities of diamondback moth *Plutella xylostella* L. on different cabbage vegetables. *Journal of Plant Protection Research*, 46(3), 275–284.
- Kfir, R. (1997). Parasitoids of *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae) in South Africa: An annotated list. *Entomophaga*, 42(4), 517–523. <https://doi.org/10.1007/BF02769811>
- Kruess, A., y Tscharrntke, T. (1994). Habitat fragmentation, species Loss, and Biological Control. *Science*, 264, 1581–1584.
- Kruess, A., y Tscharrntke, T. (2000). Species richness and parasitism in a fragmented landscape: experiments and field studies with insects on *Vicia sepium*. *Oecologia*, 122(1), 129–137.

<https://doi.org/10.1007/PL00008829>

- Labou, B., Brévault, T., Bordat, D., y Diarra, K. (2016). Determinants of parasitoid assemblages of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, in cabbage farmer fields in Senegal. *Crop Protection*, 89, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.06.018>
- Lei, G., y Camara, M. (1999). Behaviour of a specialist parasitoid, *Cotesia melitaearum*: from individual behaviour to metapopulation processes. *Ecological Entomology*, 24(1), 59–72. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.1999.00167.x>
- Levins, R. (1969). Some demographic and Genetic consequences of environmental heterogeneity for Biological Control. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 15(3), 237–240.
- Lim, G. (1992). Integrated Pest Management of diamondback Moth: practical realities. In N. Talekar (Ed.), *Proceedings of the Second International Workshop Tainan, Taiwan* (pp. 565–576). Asian Vegetable Research and Development Center.
- Liu, S., Wang, X., Guo, S., He, J., y Song, H. (1997). A survey of insect parasitoids of *Plutella xylostella* and the seasonal abundance of the major parasitoids in Hangzhou, China. In A. Sivapragasam, W. Loke, A. Hussan, y G. Lim (Eds.), *The management of diamondback moth and other crucifer pests: proceedings of the Third International Workshop, Kuala Lumpur, Malaysia* (p. 356). Malaysian Agricultural Research and Development Institute.
- Maires, J. (2020). *Morfologia e evolução em vespas parasitoides (Hymenoptera: Chalcididae: Chalcidinae)*. Tese para a obtenção do grau de Doutor em Biologia Animal. Universidad Federal do Espírito Santo-.
- Marchioro, C. (2011). *Flutuação populacional de Plutella xylostella (L., 1758) (Lepidoptera: Yponomeutidae) e de seus parasitoides no sudeste do Paraná: biologia em plantas silvestres e cultivadas e exigências térmicas*. Tesis doctoral. Universidade Federal Do Paraná.
- Marchioro, C., y Foerster, L. (2016). Biotic factors are more important than abiotic factors in regulating the abundance of *Plutella xylostella* L., in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 60(4), 328–333. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2016.06.004>
- Maron, J., y Harrison, S. (1997). Spatial pattern formation in an insect host-parasitoid system. *Science*, 278, 1619–1621. <https://doi.org/10.1126/science.278.5343.1619>

- Maron, J., Harrison, S., y Greaves, M. (2001). Origin of an insect outbreak: escape in space or time from natural enemies? *Oecologia*, 126(4), 595–602. <https://doi.org/10.1007/s004420000558>
- Murdoch, W., y Oaten, A. (1975). Predation and Population Stability. *Advances in Ecological Research*, 9, 1–131. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60288-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60288-3)
- Muriel, S., y Grez, A. (2003). Abundancia y parasitismo de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) en parches de *Brassica oleracea* con diferente forma y vegetación circundante. *Actualidades Biológicas*, 25(79), 99–103.
- Ngowi, B., Tonnang, H., Khamis, F., Mwangi, E., Nyambo, B., Ndegwa, P., y Subramanian, S. (2019). Seasonal abundance of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and diversity of its parasitoids along altitudinal gradients of the eastern Afromontane. *Phytoparasitica*, 47(3), 375–391. <https://doi.org/10.1007/s12600-019-00732-3>
- O'Hara, J. (1982). Classification, Phylogeny and Zoogeography of the North American species of *Siphona* Meigen (Diptera: Tachinidae). *Quaestiones Entomologicae*, 18, 261–380.
- O'Hara, J. (1989). Systematics of the Genus Group Taxa of the Siphonini (Diptera: Tachinidae). *Quaestiones Entomologicae*, 25, 1–229.
- O'Hara, J., Wood, D., y González, C. (2021). Annotated catalogue of the Tachinidae (Insecta, Diptera) of Chile. *ZooKeys*, 1064, 1–200. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1064.62972>
- Ooi, P. (1988). Laboratory studies of *Tetrastichus sokolowskii*. *Entomophaga*, 33(2), 145–152.
- Palacio, E., y Wahl, D. (2006). Familia Ichneumonidae. In F. Fernández y M. Sharkey (Eds.), *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical* (pp. 293–329). Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia.
- Pickett, C., y Pitcairn, M. (1999). Classical biological control of ash whitefly: Factors contributing to its success in California. *BioControl*, 44(2), 143–158. <https://doi.org/10.1023/A:1009907826562>
- Sallam, M., Overholt, W., y Kairu, E. (2001). Dispersal of the exotic parasitoid *Cotesia flavipes* in a new ecosystem. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 98(1), 211–217. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2001.00776.x>
- Santolamazza, S., Velasco, P., y Cartea, M. (2013). *Diadegma fenestrata* (Hymenoptera,

- Ichneumonidae): la mejor herramienta para el control biológico de la polilla de la col *Plutella* (Lepidoptera, Yponomeutidae). *Phytoma España*, 245, 27–32.
- Sarfraz, M., Dossall, L., y Keddie, B. (2012). Influence of the herbivore host's wild food plants on parasitism, survival and development of the parasitoid *Diadegma insulare*. *Biological Control*, 62(1), 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.03.004>
- Sarfraz, M., Keddie, A., y Dossall, L. (2005). Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: A review. *Biocontrol Science and Technology*, 15(8), 763–789. <https://doi.org/10.1080/09583150500136956>
- Sarfraz, M., y Keddie, B. (2005). Conserving the efficacy of insecticides against *Plutella xylostella* (L.) (Lep., Plutellidae). *Journal of Applied Entomology*, 129(3), 149–157. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2005.00930.x>
- Schauff, M., Gates, M., y La Salle, J. (2006). Familia Eulophidae. In F. Fernández y M. Sharkey (Eds.), *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical* (pp. 755–760). Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia.
- Schellhorn, N., Bellati, J., Paull, C., y Maratos, L. (2008). Parasitoid and moth movement from refuge to crop. *Basic and Applied Ecology*, 9(6), 691–700. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2007.12.010>
- Shakeel, M., Farooq, M., Nasim, W., Akram, W., Ahmad, F., Jaleel, W., Zhu, X., Yin, H., Li, S., Fahad, S., Hussain, S., Chauhan, B., y Jin, F. (2017). Environment polluting conventional chemical control compared to an environmentally friendly IPM approach for control of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in China: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(17), 14537–14550. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8996-3>
- Silva, C., Pontes, I., Torres, J., y Barros, R. (2010). New records of natural enemies of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in Pernambuco, Brazil. *Neotropical Entomology*, 39(5), 835–838. <https://doi.org/10.1590/s1519-566x2010000500028>
- Silva, C., Ramos, I., Torres, J., y Barros, R. (2009). Superparasitism and host size effects in *Oomyzus sokolowskii*, a parasitoid of diamondback moth. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 133(1), 65–73. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2009.00903.x>
- Sithole, R., Chinwada, P., y Löhr, B. (2018). Effects of host larval stage preferences and diet on

- life history traits of *Diadegma mollipla*, an African parasitoid of the diamondback moth. *Biocontrol Science and Technology*, 28(2), 172–184.
<https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1434614>
- Sow, G., Arvanitakis, L., Niassy, S., Diarra, K., y Bordat, D. (2013). Performance of the parasitoid *Oomyzus sokolowskii* (Hymenoptera: Eulophidae) on its host *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) under laboratory conditions. *International Journal of Tropical Insect Science*, 33(1), 38–45. <https://doi.org/10.1017/S1742758412000422>
- Sow, G., Diarra, K., Arvanitakis, L., y Bordat, D. (2013). The relationship between the diamondback moth, climatic factors, cabbage crops and natural enemies in a tropical area. *Folia Horticulturae*, 25(1), 3–12. <https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0001>
- Talekar, N., y Hu, W. (1996). Characteristics of parasitism of *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) by *Oomyzus sokolowskii* (Hym., Eulophidae). *Entomophaga*, 41(1), 45–52. <https://doi.org/10.1007/BF02893291>
- Talekar, N., y Shelton, A. (1993). Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annual Review of Entomology*, 38(92), 275–301.
<https://doi.org/10.1136/bmj.1.5851.492-a>
- Tilman, D., y Kareiva, P. (1997). *Spatial Ecology: The Role of space in population dynamics and interspecific interactions*. Princeton University Press.
- Wagener, B., Reineke, A., Löhr, B., y Zebitz, C. (2004). A PCR-based approach to distinguish important *Diadegma* species (Hymenoptera: Ichneumonidae) associated with diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of Entomological Research*, 94(5), 465–471.
<https://doi.org/10.1079/ber2004315>
- Wang, X., Liu, S., Guo, S., y Lin, W. (1999). Effect of host stages and temperature on population parameters of *Oomyzus sokolowskii*, a larval-pupal parasitoid of *Plutella xylostella*. *BioControl*, 44(4), 391–402.
- Weisser, W., Volkl, W., y Hassell, M. (1997). The importance of adverse weather conditions for behaviour and population ecology of an Aphid parasitoid. *The Journal of Animal Ecology*, 66(3), 386–400. <https://doi.org/10.2307/5984>
- Yu, D., y Horstmann, K. (1997). A Catalogue of World Ichneumonidae Hymenoptera. *Memoirs*

of the American Entomological Institute, 58, 133–141.

- Zappalà, L., Campolo, O., Grande, S., Saraceno, F., Biondi, A., Siscaro, G., y Palmeri, V. (2012). Dispersal of *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae) after augmentative releases in citrus orchards. *European Journal of Entomology*, 109(4), 561–568. <https://doi.org/10.14411/eje.2012.070>
- Zhou, L., Huang, J., y Xu, H. (2011). Monitoring resistance of field populations of diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) to five insecticides in South China: A ten-year case study. *Crop Protection*, 30(3), 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.10.006>

CAPÍTULO 4

PREFERENCIA DE OVIPOSICIÓN Y SUPERVIVENCIA DE ESTADOS INMADUROS DE *Plutella xylostella*

INTRODUCCIÓN

Plutella xylostella es una plaga agrícola con un alto potencial reproductivo, una amplia distribución y una gran resistencia a diferentes tipos de insecticidas (Newman *et al.*, 2016). Esta plaga especialista de brasicáceas puede atacar a las plantas en todas sus etapas de crecimiento. Esta familia de plantas se caracteriza por poseer glucosinolatos, compuestos vegetales que contienen azufre (Sarfraz *et al.*, 2006). Los glucosinolatos desempeñan un papel importante en los mecanismos de defensa de las plantas contra las plagas generalistas (Sarfraz *et al.*, 2006), pero también actúan como potentes estimulantes de la oviposición y la alimentación para más de 25 especies de insectos coleópteros, lepidópteros y dípteros especializados en plantas brasicáceas (Hopkins *et al.*, 2009). La PDD utiliza los glucosinolatos para el reconocimiento de las plantas huésped (Badenes *et al.*, 2013). Una alta cantidad de glucosinolato es una de las principales características que hacen que una planta de brasicácea sea susceptible a la infestación por *P. xylostella* (Jafary *et al.*, 2019). De acuerdo con Badenes *et al.* (2004) los volátiles del hospedador, la morfología y el color de las hojas, o una combinación de estos factores, serían los principales responsables de desencadenar la preferencia de oviposición en *P. xylostella*.

Si bien los glucosinolatos se hallan presentes en las especies de la familia Brassicaceae, la concentración de los mismos varía entre especies e incluso entre tejidos de la misma planta (Rhee *et al.*, 2020). Estas diferencias también se observan entre variedades cultivadas de *Brassica* (Rhee *et al.*, 2020, Lewis y Fenwick, 1987), e inclusive su concentración puede variar entre cultivares de la misma especie (Mullin 1977, Kushad *et al.*, 1999). Estudios previos señalan que la variedad de *Brassica oleracea* con mayor concentración de glucosinolatos es el repollito de Bruselas, seguido en orden descendente de concentración por el brócoli, la coliflor el repollo morado y finalmente el repollo blanco (Mullin, 1977, Kushad *et al.*, 1999).

La oviposición es una de las fases más importantes del proceso de infestación de las plagas en las plantas (Talekar *et al.*, 1994). Estudiar la relación entre la preferencia de oviposición y el desarrollo de la descendencia es fundamental para entender la evolución de las interacciones planta-insecto (Zhang *et al.*, 2012). La comprensión de las preferencias de oviposición y la alimentación de las larvas de la PDD puede ayudar a una mejor planificación de las estrategias MIP (Reddy *et al.*, 2004; Newman *et al.*, 2016) y aportar al desarrollo de medidas de control dirigidas a los distintos estados inmaduros de la plaga (Talekar *et al.*, 1994; Faria *et al.*, 2019). De igual forma el conocimiento de la susceptibilidad al ataque de *P. xylostella* de los cultivos de Brassica permitirá a los cultivadores emplear las tácticas de control más apropiadas para una variedad determinada (Hamilton *et al.*, 2005). *Plutella xylostella* utiliza una combinación de olfato y visión (Couty *et al.*, 2006) que detectan señales químicas y morfológicas para localizar y reconocer las plantas huéspedes (Sarfraz *et al.*, 2006). Una vez elegido el huésped, la PDD coloca sus huevos individualmente o en grupos (Ahuja *et al.*, 2010; Bhure *et al.*, 2020). Los sitios de oviposición son importantes para la supervivencia de las larvas de *P. xylostella* ya que en su primer estadio son minadoras y se secan muy rápidamente si se les impide excavar bajo la cutícula de la hoja (Justus y Mitchell, 1996).

La preferencia de oviposición de la PDD ha sido analizada en líneas de *Brassica rapa* (L.) con superficie foliar “cerosa” y “brillante”. Las hembras de *P. xylostella* colocaron más huevos en la superficie “brillante”, sin embargo, las larvas del primer estadio mostraron preferencia por las plantas “cerosas” (Ulmer *et al.*, 2002). La cera en la superficie de las hojas suprime considerablemente la oviposición (Uematsu y Sakanoshita, 1989). Algunas investigaciones sobre la resistencia de las plantas hospederas indican que las plantas de *Brassica* que expresan la característica de la cera brillante de la hoja muestran cierta resistencia a *P. xylostella* (Ulmer *et al.*, 2002). En otro orden también se ha observado que cuando la plaga tiene acceso a plantas intactas vs plantas infestadas por herbívoros, se pusieron más huevos cerca de los sitios del daño en las hojas superiores de repollo (*Brassica oleracea* L.) y colza (*Brassica napus* L.), mientras en las plantas intactas, los huevos fueron colocados en las hojas inferiores (Silva y Furlong, 2012).

En un estudio realizado por Zhang *et al.* (2012) reportaron una correlación positiva entre la preferencia de oviposición y el rendimiento de las larvas de PDD en hospedadores silvestres y cultivados sanos, mientras que en las plantas que han sido atacadas por insectos, la relación entre la oviposición y el desarrollo larval es menos predecible. En ese sentido el desarrollo de los estados inmaduros de la PDD depende de factores propios de las plantas huéspedes que les otorgan resistencia a la plaga (Bertolaccini *et al.*, 2011). En varias investigaciones se ha observado que las plantas altamente preferidas para la oviposición no fueron las preferidas para la alimentación de los primeros estadios larvales de la PDD y se presentaron como potencialmente letales para los neonatos de la plaga (Newman *et al.*, 2016; Silva y Furlong, 2012). Se desconoce, sin embargo, si existen diferencias en la preferencia de oviposición y supervivencia de inmaduros de la PDD en las variedades de brasicáceas estudiadas en la presente tesis. Teniendo en cuenta que las variedades de brasicáceas cultivadas tienen diferencias en la concentración de glucosinolatos, y que estos dominan las interacciones entre *P. xylostella* y sus huéspedes (Furlong *et al.*, 2013), en este capítulo se propone como hipótesis que *P. xylostella* muestra diferencias en la preferencia de oviposición y supervivencia de sus estados inmaduros en las distintas variedades de *Brassica oleracea* cultivadas en la RAC.

Las predicciones que acompañan a la presente hipótesis son:

- Las hembras de *P. xylostella* ovipondrán más en repollito de Bruselas por su mayor concentración de glucosinolatos que en las otras variedades de *Brassica oleracea* presentes en la RAC.
- Las larvas de *P. xylostella* tendrán una mayor supervivencia en el repollito de Bruselas que en las otras variedades de *Brassica oleracea* cultivadas en la RAC.

Para poder poner a prueba esta hipótesis se propone como objetivo para este capítulo Determinar si existen diferencias entre la preferencia de oviposición y la supervivencia de estados inmaduros de *P. xylostella* en cinco variedades de *Brassica oleracea* cultivadas en la RAC de la ciudad de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cría de *Plutella xylostella* en condiciones de laboratorio

Los adultos de *P. xylostella* fueron criados en el laboratorio del Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNC, a partir de larvas y pupas colectadas en los cultivos de brasicáceas de la RAC. Todas las larvas traídas del campo se colocaron de forma individual en cápsulas de Petri de cinco cm de diámetro. A estas larvas se les dio como alimento trozos de la misma variedad de brasicácea de donde fueron colectados hasta que puparon. Una vez obtenidas las pupas, éstas se separaron en cápsulas de Petri sin material vegetal hasta la emergencia del adulto. Los adultos emergidos fueron liberados en jaulas de 25 x 25 x 39 cm que contenían plantas de colza (*Brassica napus*) para que ovipongan. Las jaulas para la cría de la segunda generación se mantuvieron en cámaras de ambiente controlado a 25 °C (± 2) de temperatura y un fotoperiodo de 16:8 horas de luz/oscuridad.

Cuando emergieron los adultos de esta segunda generación se separaron hembras y machos mediante lupa estereoscópica siguiendo las características morfológicas externas detalladas por Fernández y Álvarez (1988), para posteriormente ser colocados en parejas. Se colocaron 20 parejas de adultos de entre 24 y 48 horas de edad por jaula. En total, se utilizaron siete jaulas de 25 x 25 x 39 cm. La jaula estuvo cubierta con vidrio en la parte superior, aluminio en la parte inferior y malla de nylon en los lados restantes (Fig. 4.1A). En cada jaula se colocó con un pincel en el interior de la lámina de vidrio una solución de miel al 10% como fuente de alimentación para los adultos de la PDD. Las jaulas fueron colocadas en la cámara de cría del laboratorio del CREAN, donde se mantuvieron en las mismas condiciones controladas (25°C \pm 2 y un fotoperiodo de 16:8 horas de L/O).

Preferencia de oviposición de *Plutella xylostella*

Para la evaluación de la preferencia de oviposición se colocaron discos de hojas con el envés hacia arriba en cajas de Petri (Fig. 4.1B). Estas cajas de Petri fueron colocadas sin tapa y al azar en el interior de las jaulas donde se encontraban los adultos. Los discos de hoja correspondieron a cinco variedades de brasicáceas: repollo blanco (*Brassica oleracea* var. *capitata*), brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), repollo morado (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*), repollito de Bruselas (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) y un testigo: acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*). Siguiendo la metodología propuesta por Moreira *et al.* (2016), los discos se cortaron de 4,5 cm de diámetro para cada una de las variedades y el testigo nombrado anteriormente. Los discos de hojas de las diferentes plantas evaluadas, fueron colocados en las jaulas a última hora de la tarde, debido a los hábitos reproductivos crepusculares de la PDD (Moreira *et al.*, 2016). A las 48 horas luego de la liberación de las parejas de adultos, se contabilizaron los huevos colocados en cada uno de los discos de hoja, utilizando un estereomicroscopio. Se procedió a su registro y se determinó la preferencia de oviposición mediante el conteo de huevos colocados en cada uno de los discos de las variedades evaluadas (Fig. 4.2) Los huevos obtenidos de este estudio fueron utilizados posteriormente para las evaluaciones de supervivencia de *P. xylostella* en las mismas variedades que se evaluaron la preferencia de oviposición de la mencionada plaga.



Figura 4.1 Evaluación de la preferencia de oviposición de *Plutella xylostella*. (A) Jaula con los discos de hojas de las plantas evaluadas (B) Preparación de los discos de hojas, para la evaluación de la preferencia de oviposición.

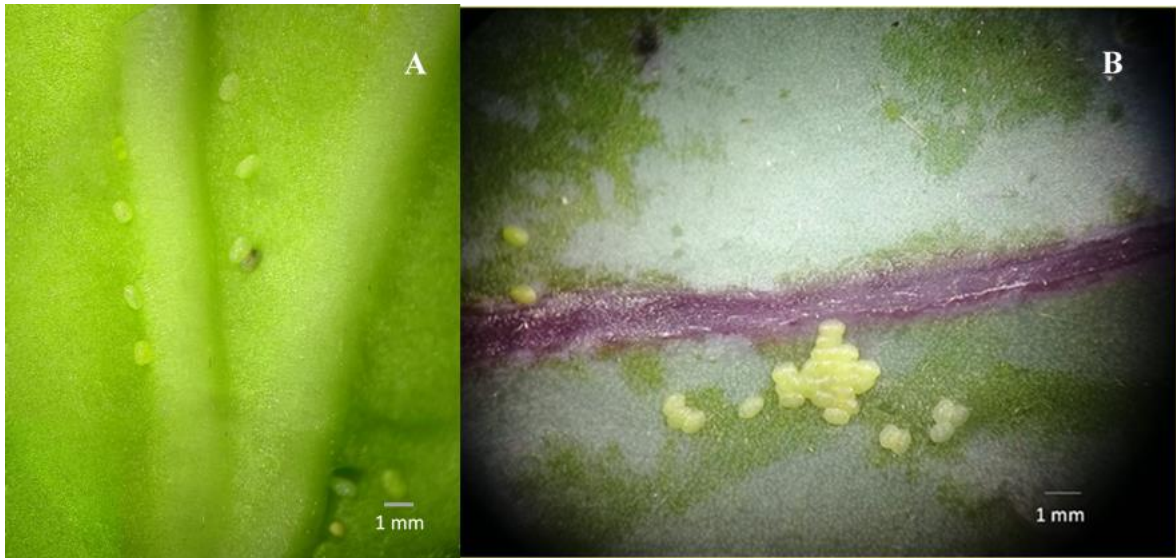


Figura 4.2 Huevos de *Plutella xylostella* depositados en el envés de discos de hoja: A) huevos individuales en repollo blanco B) huevos agrupados en repollo morado, en la evaluación bajo estereomicroscopio de la preferencia de oviposición de la PDD.

Supervivencia de *Plutella xylostella*

La sobrevivencia de *P. xylostella* se evaluó de un total de 1350 huevos. Utilizando un pincel de cerda suave, se colocaron cinco huevos en cajas de Petri que contenían discos de hojas de las cinco variedades de brasicáceas evaluadas y el testigo. Debajo de los discos de hoja fueron colocados discos de papel filtro humedecido para que mantuviera la frescura de las hojas. Las placas de Petri cerradas se colocaron en una cámara de crecimiento, a 25°C (± 2) de temperatura y un fotoperiodo de 16:8 horas de luz/oscuridad. Las larvas fueron alimentadas con follaje fresco cada 1-2 días, hasta llegar a la fase de pupa. Todas las cajas de Petri con las muestras se observaron diariamente donde se registraron los diferentes estados del ciclo de vida: huevo, larva, pupa, adulto como así también los diferentes estadios larvales. Se registró el tiempo de desarrollo en días y el estado/estadio larval en el que se encontraba el individuo al momento de morir.

Análisis estadístico

Evaluación de la preferencia de oviposición de *Plutella xylostella*

La preferencia de oviposición de *P. xylostella* se evaluó mediante un Modelo Lineal Generalizado Mixto (MLGM) en dicho modelo se utilizó una distribución Poisson debido a que la variable respuesta número de huevos son conteos. También se usó a la variedad vegetal como factor fijo y la variable jaula como factor aleatorio, debido a que las jaulas discreparon en el número de parejas de adultos de la PDD (Tabla 4.1). Se realizaron pruebas de comparaciones múltiples para determinar diferencias entre variedades (Fig. 4.3) (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Evaluación de la supervivencia de *Plutella xylostella*

Los datos de supervivencia fueron tabulados y analizados por medio del Test de Kaplan-Meier (Altman, 1991) y posteriormente mediante la prueba X^2 (Rich *et al.*, 2010). Así, se obtuvieron las curvas totales del ciclo de vida de *P. xylostella* para cada variedad de brasicácea más el testigo. Además, se obtuvieron las curvas parciales de cada estado/estadio de supervivencia para la variedad de brasicácea en donde colocaron más huevos y en la que menos pusieron. Finalmente se realizaron evaluaciones entre pares de brasicáceas para una mejor comprensión. Se obtuvieron las curvas correspondientes. Para todos los análisis estadísticos se empleó el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS

Preferencia de oviposición de *Plutella xylostella*

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el número de huevos colocados en las variedades de brasicáceas y el testigo evaluados ($F= 96,27$; $p < 0.0001$) (Fig. 4.3). Las hembras adultas de *Plutella xylostella* mostraron una mayor preferencia de oviposición para el repollo blanco con una media de $30,60 \pm 3,41$ por disco, seguido de repollo morado $25,38 \pm 2,86$; coliflor $24,25 \pm 3,04$; brócoli $21,53 \pm 2,44$; repollito de Bruselas $15,85 \pm 1,83$ y finalmente la acelga con $6,87 \pm 0,87$. El repollo morado y la coliflor no mostraron diferencias significativas. Por su parte la coliflor tampoco mostró diferencias con el brócoli en el número de huevos colocados por *P. xylostella*.

Tabla 4.1: Comparación de preferencia de oviposición entre los 6 tratamientos (5 variedades de *Brassica oleracea* y *Beta vulgaris*). * indica diferencias significativas

	g. l.	F	p
Variedad	5	96,27	0,0001

El repollito de Bruselas fue la brasicácea donde menos huevos se registraron en promedio. Finalmente, en la acelga, por no ser una especie hospedadora se registraron menos cantidad de huevos.

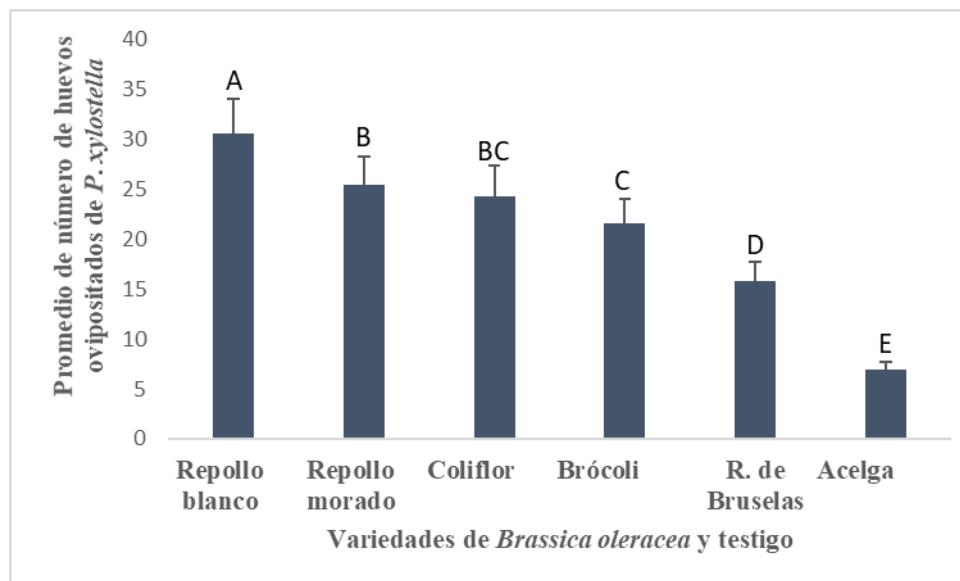


Figura 4.3 Número promedio de huevos de *Plutella xylostella* depositados en las cinco variedades de brasicáceas: repollo blanco (*Brassica oleracea* var. *capitata*), brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), repollo morado (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*), repollito de Bruselas (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) y un testigo: acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*). Las medias en columnas con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Supervivencia de *Plutella xylostella*

Se registraron diferencias significativas en la supervivencia de *P. xylostella* en las distintas variedades evaluadas ($p < 0,001$) (Fig. 4.4). En la acelga se observó la máxima proporción de supervivencia ($0,739 \pm 0,021$) a los 4 días de desarrollo que disminuyó a una supervivencia de 0 a los 6 días de colocados los huevos cuando se observaron todas las larvas muertas. En el repollo blanco se observó al tercer día una proporción de supervivencia del $0,894 \pm 0,013$, la cual disminuyó al cuarto día a $0,621 \pm 0,020$. Una proporción de $0,234 \pm 0,018$ individuos llegaron a la fase de adultos. En el Brócoli, al cuarto día de evaluación se registró una probabilidad de supervivencia de $0,742 \pm 0,18$ mientras que una proporción de $0,248 \pm 0,018$ individuos llegaron a adultos. En el repollito de Bruselas, al cuarto día de evaluado se registró una probabilidad de supervivencia de $0,654 \pm 0,02$. Una proporción de $0,260 \pm 0,019$ llegaron a adultos. La coliflor registró una probabilidad de supervivencia de $0,960 \pm 0,017$ al cuarto día de evaluación y una proporción de $0,347 \pm 0,042$ llegaron a adultos. En el repollo morado, al

cuarto día de evaluación se registró una probabilidad de supervivencia de $0,635 \pm 0,020$. Una proporción de $0,196 \pm 0,016$ llegaron a adultos. Cabe mencionar que la coliflor es la planta hospedadora en la que más inmaduros sobrevivieron hasta llegar a la etapa de adulto.

Al analizar la supervivencia de los estados/estadios de *P. xylostella* en repollo blanco, que fue la variedad donde más huevos promedio se encontraron, se observó que las larvas del primer estadio son las más susceptibles, en este caso al cuarto y quinto día se mueren un total de 242 larvas disminuyendo la proporción de supervivencia de $0,457 \pm 0,026$ a $0,136 \pm 0,019$ (Fig.4.5). En esta variedad se observó que en cada etapa del ciclo de vida hay individuos que no sobreviven. Por otro lado, en la acelga, el hospedero en donde menos se encontraron huevos, el estadio larval más susceptible también fue el primero (estadio L1) (Fig.4.6). Sin embargo, ningún individuo sobrevivió para pasar a L2. En este caso al sexto día se murieron un total de 264 larvas disminuyendo la proporción de supervivencia de $0,623 \pm 0,023$ a 0.

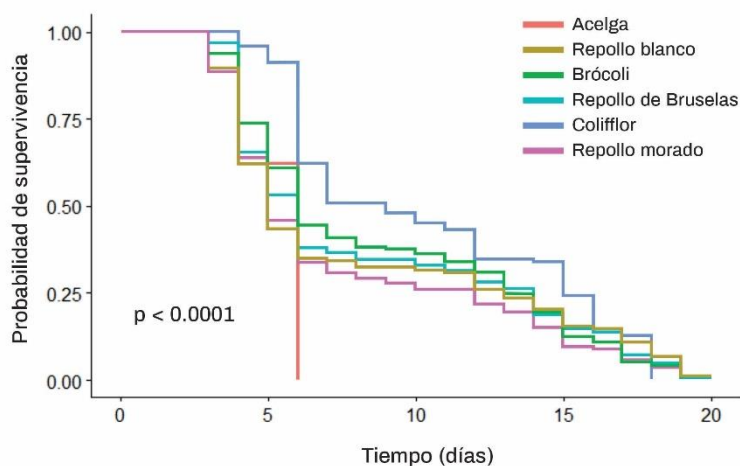


Figura 4.4 Curva de supervivencia de las cinco variedades de brasicáceas y el testigo evaluadas en condiciones de laboratorio

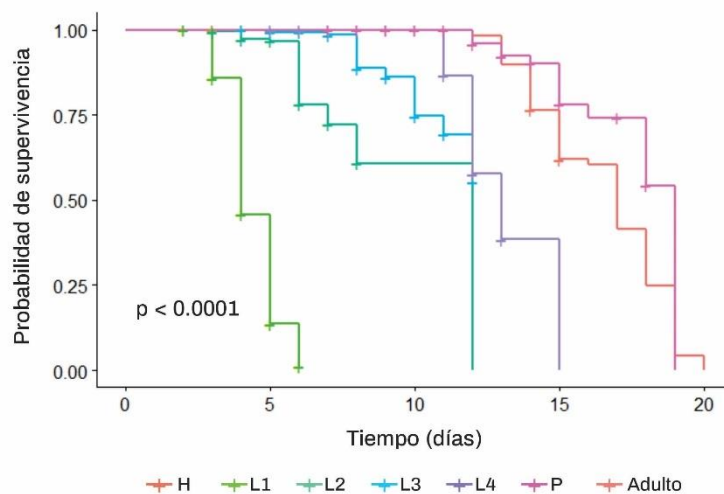


Figura 4.5 Curva comparativa de supervivencia entre los estados/estadios del ciclo biológico de *Plutella xylostella* en condiciones de laboratorio.

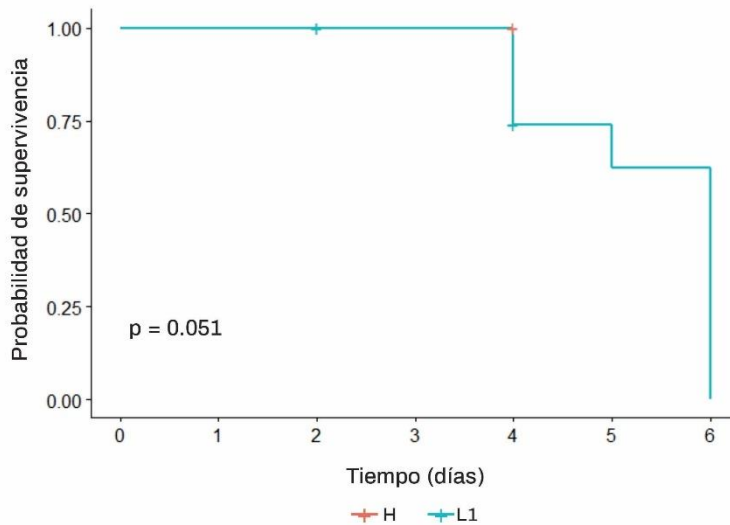


Figura 4.6 Curva de supervivencia de inmaduros de *Plutella xylostella* en el testigo acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*).

En la comparación de supervivencia de *P. xylostella* realizada entre pares de variedades de brasicáceas no se observaron diferencias significativas excepto para el par repollo blanco-coliflor ($p=0,0023$) (Fig.4.7). En los demás pares evaluados, es decir: repollo blanco-repollo morado; repollo blanco-brócoli y repollo blanco-repollo de Bruselas no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$).

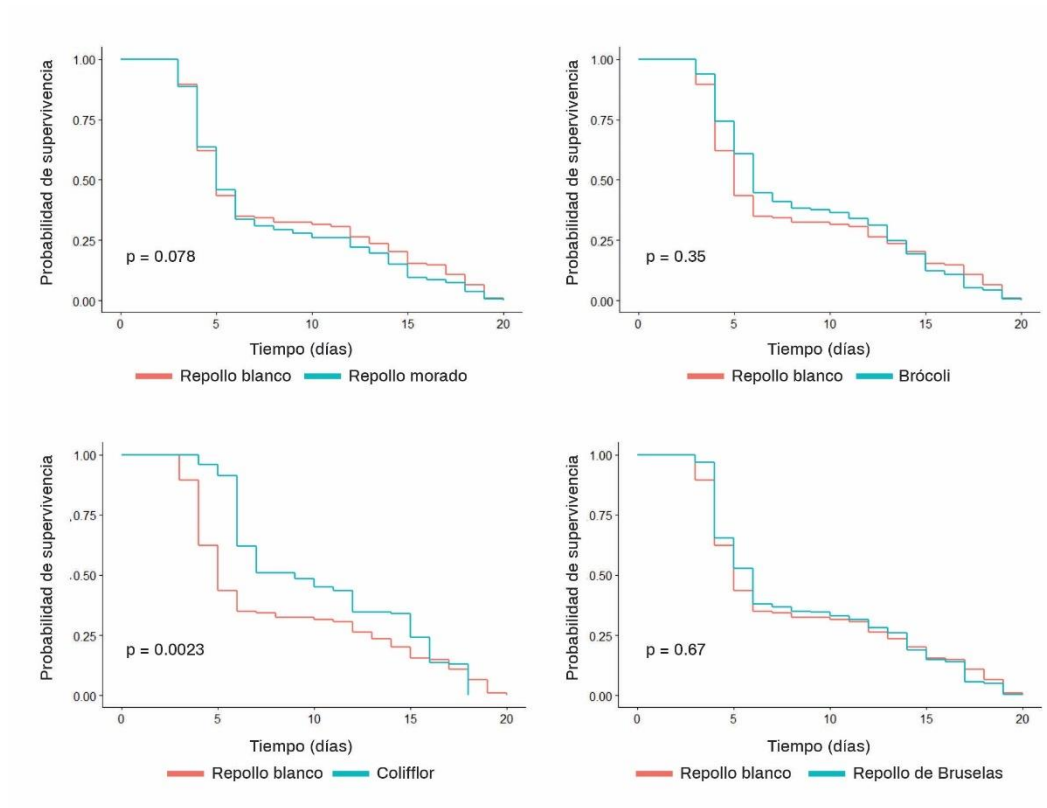


Figura 4.7 Curvas comparativas de supervivencia de inmaduros de *Plutella xylostella* en *Brassica oleracea* var. *capitata* (repollo blanco) con cada una de las variedades de *B. oleracea* evaluadas

DISCUSIÓN

Entender cómo la preferencia de oviposición de los adultos afecta el éxito reproductivo de su descendencia es fundamental para comprender la ecología evolutiva de la relación entre insectos herbívoros y plantas hospedadoras (Thompson, 1988). Las hembras adultas deberían elegir cuidadosamente las plantas hospedadoras en las que depositan sus huevos para asegurar la supervivencia de sus crías (como se observa en la mayoría de los lepidópteros), ya que las larvas jóvenes tienen una movilidad limitada y dependen de la elección de su madre para encontrar un alimento adecuado (Thompson y Pellmyr, 1991; Zalucki *et al.*, 2002). La elección del lugar de oviposición por parte de las hembras adultas es crucial para la supervivencia de su descendencia. Según la teoría de la oviposición óptima, la preferencia de los adultos debería estar relacionada con la idoneidad de la planta hospedadora para el desarrollo de las crías (Jaenike, 1978). Sin embargo, los datos existentes muestran una variación considerable en la correlación entre la preferencia de los adultos y el éxito reproductivo de sus crías. Algunos estudios han encontrado una correlación positiva (Nylín *et al.*, 1996; Bertheau *et al.*, 2009; Mazaheri *et al.*, 2011), mientras que otros han encontrado una correlación débil o inexistente (Rajapakse y Walter, 2007; Chatzigeorgiou *et al.*, 2010; Shikano *et al.*, 2010).

La interacción de múltiples factores, como la calidad de la planta hospedadora, la especie o la variedad puede influir en la preferencia del adulto y el éxito reproductivo de sus crías. Ignorar estos factores o sus interacciones puede limitar nuestra comprensión de la relación entre la preferencia de oviposición de los adultos y el rendimiento de su descendencia (Craig *et al.*, 2000). En nuestro caso, se observó una diferencia significativa en la preferencia de oviposición entre las distintas variedades de *B. oleracea* comparadas. Las hembras ovipusieron más en repollo blanco, seguido por repollo morado, coliflor, brócoli y repollito de Bruselas. Como era esperado la acelga fue la menos elegida para oviponer, ya que al no ser una brassicácea no provoca atracción por esta plaga especializada en el ataque a esta familia botánica. Es decir, más allá de las variedades de *B. oleracea* implantadas en la RAC, las hembras de las poblaciones locales ovipusieron preferentemente en repollo blanco, mientras que la supervivencia de los inmaduros fue mayor en la coliflor. Este hallazgo coincidió con lo reportado por Badenes *et al.*

(2006) y con Bertolaccini *et al.* (2011), quienes observaron que *P. xylostella* prefiere oviponer sobre ciertas plantas, aunque las larvas no sobrevivan, es decir que una mayor cantidad inicial de huevos no necesariamente significa una mayor cantidad de larvas y de pupas. Reddy *et al.* (2004) también observaron que la PDD prefirió oviponer en el repollo blanco, seguido por la coliflor, el brócoli y el colinabo. Esta preferencia por los huéspedes puede deberse en parte a las diferentes señales químicas que pueden estar implicadas en la aceptación o el rechazo de los posibles huéspedes, en el caso del brócoli su menor contenido en glucosinolato ha demostrado que es menos preferido que otras variedades (Reddy *et al.*, 2004).

Por otro lado, Golizadeh *et al.* (2009) reportaron que la coliflor, y en segundo lugar el repollo blanco son las variedades más apropiadas para la oviposición y la supervivencia de *P. xylostella* en estudios en laboratorio llevados a cabo en condiciones similares que en el presente trabajo ($25 \pm 1^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$ HR y 14:10 (L:O) horas en una cámara de cría). Ramzan *et al.* (2021) también reportaron a coliflor como la variedad donde las hembras depositaron más huevos y donde la supervivencia fue mayor (84%) seguida del repollo blanco (73%) y la colza (69%). Jafary *et al.* (2019) concluyeron que la coliflor es la variedad elegida para oviponer y desarrollarse debido a las cantidades de glucosinolato. Los adultos de *P. xylostella* criados en la coliflor viven más tiempo, y las hembras tienen un periodo de oviposición más largo. Las hembras prefirieron oviponer en la coliflor y el número de huevos depositados fue directamente proporcional a la cantidad de glucosinolato de las hojas (Jafary *et al.*, 2019), ya que provee estímulos olfativos y gustativos a la plaga (Syed y Abro, 2003). Nuestros resultados muestran que la sobrevivencia de *P. xylostella* varía en función de la planta sobre la que desarrollan las larvas.

En este trabajo se utilizó a la acelga como testigo teniendo en cuenta que no es un hospedero específico y que es una de las hortalizas de hoja que más acompaña a las brasicáceas en la RAC. A pesar de que en la evaluación de la preferencia de oviposición la acelga fue en la que menos huevos se observaron y en la que no se completó el ciclo de vida de *P. xylostella*, algunas hembras la eligieron para oviponer. Los huevos eclosionaron, pero las larvas murieron a los 6 días, no superando el estadio de larva 1. Löhr y Gathu (2002) observaron una situación similar en plantas de arveja (*Pisum sativum* L.), donde en una evaluación con 250 larvas de

primer estadio de *P. xylostella* alimentados con brasicéa, sólo seis alcanzaron la fase adulta en arveja. Según estos autores el rendimiento en la arveja no estaba relacionado con la capacidad de la plaga para minar, sino más bien con la capacidad para iniciar la alimentación sin los estímulos normales presentes en las brasicéas. Sin embargo, aquellos adultos alimentados con arveja se fueron adaptando hasta lograr una supervivencia de alrededor del 83%. Así, Löhr y Gathu (2002) concluyeron que después de tres generaciones, las tasas de supervivencia de la población de *P. xylostella* en arveja fueron similares a las del hospedador original.

Se ha demostrado que la dieta de un insecto afecta a su supervivencia y reproducción y que los insectos que se alimentan de plantas dependen de la cantidad y calidad de los nutrientes de su planta huésped (Soufbaf *et al.*, 2011). Según la evidencia acumulada, hay varios factores que influyen en la decisión de ovipositar de *P. xylostella*, como las ceras en la superficie de la hoja, la estimulación quimiosensorial y factores abióticos (Justus y Mitchell, 1996; Spencer, 1996; Caputo *et al.*, 2006; Renwick *et al.*, 2006). Aunque para muchos insectos la selección del hospedador está determinada por la presencia de ciertas sustancias químicas en la planta (Thompson y Pellmyr, 1991; Honda, 1995), como los glucosinolatos y sus productos de hidrólisis en el caso de especialistas en crucíferas (Hopkins *et al.*, 2009). Estos compuestos no solo estimulan la oviposición de *P. xylostella*, sino que también estimulan la alimentación de las larvas (Reed *et al.*, 1989; Renwick *et al.*, 2006).

Por lo tanto, la variación en los niveles y la composición de los glucosinolatos podría afectar la calidad de las plantas como fuentes de alimento para las larvas de *P. xylostella* (Li *et al.*, 2000) por lo que se puede suponer que la selección natural favorecerá a aquellas hembras adultas que sean capaces de identificar las plantas más adecuadas para su descendencia. Nuestros resultados mostraron que la teoría de oviposición óptima (Jaenike, 1978) se cumple de manera general en nuestro caso. *Plutella xylostella* ovipositó significativamente menos huevos en la especie no hospedadora, *Beta vulgaris* y las larvas solo lograron sobrevivir seis días. Sin embargo, al comparar las variedades de *Brassica oleracea* no se verificó la predicción de que la PDD ovipondría más en coliflor o repollito de Bruselas, ni mostraron diferencias en la sobrevivencia en estas dos variedades. Las hembras de *P. xylostella* ovipusieron de manera significativa más

en repollo blanco. Pero las larvas desarrolladas en repollo blanco no tuvieron una ventaja con respecto a las desarrolladas en las otras variedades. Nuestros resultados indican que si bien *P. xylostella* completó su ciclo en las 5 variedades de *B. oleracea* presentes en la RAC, en coliflor (*Brasica oleracea* var. *botrytis*) el tiempo de desarrollo a 25 °C fue de 18 días, mientras que en el resto fue de 20. Pero coliflor no fue la variedad más preferida para oviponer. El crecimiento y desarrollo de *P. xylostella* puede variar entre diferentes plantas hospedadoras, lo que puede ser debido a la presencia de factores nutricionales y fagoestimulantes en una proporción óptima para su crecimiento en ciertas plantas hospedadoras en comparación con otras (Syed y Abro, 2003). Por ejemplo, Syed y Abro (2003) señalan que la coliflor y el repollo son los hospedadores más adecuados para *P. xylostella*, ya que el período de larva se completó más rápidamente en comparación con otros hospedadores. Estas discrepancias entre los resultados de los diversos estudios podrían atribuirse a diferencias en el contenido nutricional de las plantas huéspedes. Los rasgos de calidad de la planta huésped son los determinantes clave de la fecundidad de los insectos herbívoros que afectan a las estrategias de reproducción como: el tamaño y la calidad de los huevos, la asignación de recursos a los huevos, la elección de los sitios de oviposición y la reabsorción de los huevos o embriones (Golizadeh *et al.*, 2009).

Los resultados presentados en esta tesis doctoral confirman que todas las variedades de brasicáceas cultivadas son óptimas para el desarrollo de *P. xylostella*. La mayor mortalidad ocurre en el pasaje de larva 1 a larva 2. Aquellas larvas que sobreviven al pasaje de larva 1 a larva 2 tendrán una mayor probabilidad de llegar a adulto. Si bien la mayor ovipostura ocurre en repollo blanco, luego en repollo morado y coliflor, brócoli y repollito de Bruselas, el hecho de que las larvas que nacen en coliflor cumplan su ciclo en menos tiempo puede implicar una ventaja para estos individuos a la hora de colonizar nuevos hospedadores, o acortando el ciclo de la plaga en el lote.

CONCLUSIONES

- Las hembras de *Plutella xylostella* prefieren oviponer en plantas de repollo blanco en primer lugar, seguida de repollo morado, coliflor, brócoli, repollito de Bruselas y por último en la acelga.
- Las larvas de *P. xylostella* presentaron una mayor supervivencia y un ciclo más corto en plantas de coliflor.
- *Plutella xylostella* pudo completar su ciclo de vida en las cinco variedades de brassicáceas ofrecidas.
- Aunque la acelga no es un hospedero específico, *P. xylostella* puede oviponer sobre esta hortaliza, pero no sobrevive en ella.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Ahuja, I., Rohloff, J., y Bones, A. (2010). Defence mechanisms of Brassicaceae: Implications for plant-insect interactions and potential for integrated pest management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 311–348. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_28
- Badenes, F., Nault, B., y Shelton, A. (2006). Dynamics of diamondback moth oviposition in the presence of a highly preferred non-suitable host. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 120(1), 23–31. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00416.x>
- Badenes, F., Reichelt, M., Gershenzon, J., y Heckel, D. (2013). Interaction of Glucosinolate content of *Arabidopsis thaliana* mutant lines and feeding and oviposition by generalist and specialist lepidopterans. *Phytochemistry*, 86, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.11.006>
- Badenes, F., Shelton, A., y Nault, B. (2004). Evaluating trap crops for diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 97(4), 1365–1372. <https://doi.org/10.1093/jee/97.4.1365>
- Bertheau, C., Salle, A., Roux, G., Garcia, J., Certain, G., y Lieutier, F. (2009). Preference-performance relationship and influence of plant relatedness on host use by *Pityogenes chalcographus* L. *Agricultural and Forest Entomology*, 11, 389–396. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00442.x>
- Bertolaccini, I., Sánchez, D., Arregui, M., Favaro, J., y Theiler, N. (2011). Supervivencia de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera, Plutellidae) en diferentes híbridos de *Brassica oleracea* L. var. *capitata*. *Revista FAVE-Ciencias Agrarias*, 10, 53–59.
- Bhure, K., Pandya, H., y Naikwadi, B. (2020). Biology of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus), Lepidoptera: Plutellidae of cabbage under laboratory condition. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(1), 1627–1637.
- Caputo, C., Rutitzky, M., y Ballaré, C. (2006). Solar ultraviolet-B radiation alters the attractiveness of *Arabidopsis* plants to diamondback moths (*Plutella xylostella* L.): impacts on oviposition and involvement of the jasmonic acid pathway. *Oecologia*, 149, 81–90. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0422-3>

- Chatzigeorgiou, A., Papadopoulos, N., y Prophetou, D. (2010). Effect of cotton cultivars on the oviposition preference of pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Pest Science*, 83, 289–296. <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0297-2>
- Couty, A., Van Emden, H., Perry, J., Hardie, J., Pickett, J., y Wadhams, L. (2006). The roles of olfaction and vision in host-plant finding by the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Physiological Entomology*, 31(2), 134–145. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2006.00499.x>
- Craig, T., Itami, J., Shantz, C., Abrahamson, W., Horner, J., y Craig, J. (2000). The influence of host plant variation and intraspecific competition on oviposition preference and offspring performance in the host races of *Eurosta solidaginis*. *Ecological Entomology*, 25, 7–18.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. (2020). *InfoStat*. Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar/>
- Faria, W., De Araújo, L., Pacheco, A., Souza, V., y Pratisoli, D. (2019). Diamondback moth oviposition preference on cabbage. *Revista de Agroecologia No Semiárido*, 3(2), 1–6.
- Fernández, S., y Álvarez, C. (1988). Biología de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) polilla del repollo (*Brassica oleracea* L.) en condiciones de laboratorio. *Agronomía Tropical*, 38, 1–9.
- Furlong, M., Wright, D., y Dossdall, L. (2013). Diamondback moth ecology and management: Problems, progress, and prospects. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 517–541. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605>
- Golizadeh, A., Kamali, K., Fathipour, Y., y Abbasipour, H. (2009). Life table of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) on five cultivated Brassicaceous host plants. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11, 115–124.
- Hamilton, A., Endersby, N., Ridland, P., Zhang, J., y Neal, M. (2005). Effects of cultivar on oviposition preference, larval feeding and development time of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), on some *Brassica oleracea* vegetables in Victoria. *Australian Journal of Entomology*, 44(3), 284–287. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2005.00468.x>

- Honda, K. (1995). Chemical basis of differential oviposition by Lepidopterous insects. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 30, 1–23.
- Hopkins, R., van Dam, N., y van Loon, J. (2009). Role of glucosinolates in insect-plant relationships and multitrophic interactions. *Annual Review of Entomology*, 54, 57–83.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090623>
- Jaenike, J. (1978). On optimal oviposition behavior in Phytophagous insects. *Theoretical Population Biology*, 14, 350–356.
- Jafary, M., Razmjou, J., Nouri, G., Naseri, B., Hassanpour, M., y Leppla, N. (2019). Life table parameters and oviposition preference of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on six Brassicaceous crop plants. *Journal of Economic Entomology*, 112(2), 932–938.
<https://doi.org/10.1093/jee/toy384>
- Justus, K., y Mitchell, B. (1996). Oviposition site selection by the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Insect Behavior*, 9(6), 887–898.
<https://doi.org/10.1007/BF02208976>
- Kushad, M., Brown, A., Kurilich, A., Juvik, J., Klein, B., Wallig, M., y Jeffery, E. (1999). Variation of glucosinolates in vegetable crops of *Brassica oleracea*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47(4), 1541–1548.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.11.017>
- Lewis, J., y Fenwick, G. (1987). Glucosinolate content of *Brassica* vegetables: Analysis of twenty-four cultivars of Calabrese (green sprouting broccoli, *Brassica oleracea* L. var. *botrytis* subvar. *cymosa* Lam.). *Food Chemistry*, 25, 259–268.
- Li, Q., Eigenbrode, S., Stringam, G., y Thiagarajah, M. (2000). Feeding and growth of *Plutella xylostella* and *Spodoptera eridania* on *Brassica juncea* with varying glucosinolate concentrations and Myrosinase activities. *Journal of Chemical Ecology*, 26(10), 2401–2419.
- Löhr, B., y Gathu, R. (2002). Evidence of adaptation of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), to pea, *Pisum sativum* L. *Insect Science and Its Application*, 22(3), 161–173.
<https://doi.org/10.1017/s1742758400012017>
- Mazaheri, A., Khajehali, J., y Hatami, B. (2011). Oviposition preference and larval performance of *Aeolesthes sarta* (Coleoptera: Cerambycidae) in six hardwood tree species. *Journal*

- of Pest Science*, 84(3), 355–361. <https://doi.org/10.1007/s10340-011-0362-5>
- Moreira, L., Teixeira, N., Santos, N., Valim, J., Maurício, R., Guedes, R., Oliveira, M., y Campos, W. (2016). Diamondback moth performance and preference for leaves of *Brassica oleracea* of different ages and strata. *Journal of Applied Entomology*, 140(8), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jen.12294>
- Mullin, W., y Sahasrabudhe, M. (1977). Glucosinolate content of Cruciferous vegetable crops. *Canadian Journal of Plant Science*, 57(4), 1227–1230. <https://doi.org/10.4141/cjps77-184>
- Newman, K., You, M., y Vasseur, L. (2016). Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) exhibits oviposition and larval feeding preferences among crops, wild plants, and ornamentals as host plants. *Journal of Economic Entomology*, 109(2), 644–648. <https://doi.org/10.1093/jee/tow002>
- Nylin, S., Janz, N., y Wedell, N. (1996). Oviposition plant preference and offspring performance in the comma butterfly: Correlations and conflicts. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 80, 141–144. <https://doi.org/10.1007/BF00194743>
- Rajakpase, C., y Walter, G. (2007). Polyphagy and primary host plants: oviposition preference versus larval performance in the lepidopteran pest *Helicoverpa armigera*. *Arthropod-Plant Interactions*, 1, 17–26. <https://doi.org/10.1007/s11829-007-9003-6>
- Ramzan, M., Amin, M., Zahid, M., Nasir, M., y bin Umar, A. (2021). Effect of different host plants on the Biology of diamond-back moth, *Plutella xylostella* under laboratory conditions in Northern Punjab, Pakistan. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, Toxicology & Pest Control*, 13(1), 45–51. <https://doi.org/10.21608/eajbsf.2021.140822>
- Reddy, G., Tabone, E., y Smith, M. (2004). Mediation of host selection and oviposition behavior in the diamondback moth *Plutella xylostella* and its predator *Chrysoperla carnea* by chemical cues from cole crops. *Biological Control*, 29(2), 270–277. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(03\)00162-2](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(03)00162-2)
- Reed, D., Pivnick, K., y Underhill, E. (1989). Identification of chemical oviposition stimulants for the diamondback moth, *Plutella xylostella*, present in three species of Brassicaceae. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 53, 277–286.

- Rhee, J., Choi, S., Lee, J., Hur, O., Ro, N., Hwang, A., Ko, H., Chung, Y., Noh, J., y Assefa, A. (2020). Glucosinolate content in *Brassica* genetic resources and their distribution pattern within and between inner, middle, and outer leaves. *Plants*, 9(11), 1–17. <https://doi.org/10.3390/plants9111421>
- Renwick, J., Haribal, M., Gouinguéné, S., y Städler, E. (2006). Isothiocyanates stimulating oviposition by the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Journal of Chemical Ecology*, 32, 755–766. <https://doi.org/10.1007/s10886-006-9036-9>
- Rich, J., Gail, J., Paniello, R., Voelker, C., Nussenbaum, B., y Wang, E. (2010). A practical guide to understanding Kaplan-Meier curves. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 143(3), 331–336. <https://doi.org/10.1016/j.otohns.2010.05.007>
- Sarfraz, M., Dossdall, L., y Keddie, B. (2006). Diamondback moth-host plant interactions: Implications for pest management. *Crop Protection*, 25(7), 625–639. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.09.011>
- Shikano, I., Akhtar, Y., y Isman, M. (2010). Relationship between adult and larval host plant selection and larval performance in the generalist moth, *Trichoplusia ni*. *Arthropod-Plant Interactions*, 4(3), 197–205. <https://doi.org/10.1007/s11829-010-9100-9>
- Silva, R., y Furlong, M. (2012). Diamondback moth oviposition: Effects of host plant and herbivory. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 143(3), 218–230. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2012.01255.x>
- Soufbaf, M., Fathipour, Y., Karimzadeh, J., y Zalucki, M. (2011). Bottom-Up effect of different host plants on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): A Life-Table study on Canola. *Journal of Economic Entomology*, 103(6), 2019–2027. <https://doi.org/10.1603/ec10010>
- Spencer, J. (1996). Waxes enhance *Plutella xylostella* oviposition in response to sinigrin and cabbage homogenates. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 81, 165–173.
- Syed, T., y Abro, G. (2003). Effect of Brassica vegetable hosts on Biology and life table parameters of *Plutella xylostella* under laboratory conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6(22), 1891–1896.
- Talekar, N., Liu, S., Chen, C., y Yiin, Y. (1994). Characteristics of oviposition of diamondback moth (Lepidoptera: Yponomeutidae) on cabbage. *Zoological Studies*, 33(1), 72–77.

- Thompson, J. (1988). Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of offspring in phytophagous insects. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 47(1), 3–14.
- Thompson, J., y Pellmyr, O. (1991). Evolution of oviposition behaviour and host preference in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 36, 65–89.
- Uematsu, H., y Sakanoshita, A. (1989). Possible role of cabbage leaf wax bloom in suppressing diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) oviposition. *Applied Entomology and Zoology*, 24(3), 253–257.
- Ulmer, B., Gillott, C., Woods, D., y Erlandson, M. (2002). Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), feeding and oviposition preferences on glossy and waxy *Brassica rapa* (L.) lines. *Crop Protection*, 21(4), 327–331. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(02\)00014-5](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00014-5)
- Zalucki, M., Clarke, A., y Malcolm, S. (2002). Ecology and behavior of first instar larval Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 47, 361–393.
- Zhang, P., Lu, Y., Zalucki, M., y Liu, S. (2012). Relationship between adult oviposition preference and larval performance of the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Journal of Pest Science*, 85(2), 247–252. <https://doi.org/10.1007/s10340-012-0425-2>

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES GENERALES Y PERSPECTIVAS

Plutella xylostella (Lepidoptera: Plutellidae) conocida como polilla dorso de diamante (PDD) resulta una plaga muy interesante. Dicho interés deriva de sus características biológicas, su especificidad en cuanto a hospederos complementado con la capacidad de generar resistencia a los insecticidas. Debido a que los cultivos de brasicáceas se realizan durante todo el año, la plaga también está presente en las cuatro estaciones, siendo las reinfestaciones continuas, obligando a los productores a tratamientos químicos constantes, para preservar los rendimientos (Bertolaccini *et al.*, 2010). En este trabajo se confirmó la presencia y el establecimiento de *P. xylostella* en todos los campos estudiados en la RAC. Aquí, se encuentran las condiciones necesarias para que la plaga se desarrolle durante todo el año, aunque este trabajo se enfocó en el periodo de máxima actividad de este lepidóptero según lo reportado por Pecorari (2014), que corresponde a la primavera.

Las bajas densidades de inmaduros registradas en los lotes durante el invierno, no se relaciona con el aumento poblacional de la plaga en primavera, siendo sólo posible explicarlo mediante el arribo de individuos desde brasicáceas silvestres que se encontraban en las proximidades de los lotes (Pecorari, 2014). En esta investigación, *Plutella xylostella* presentó una importante variabilidad en su incidencia y densidad. Se observaron abundancias poblacionales diferentes en distintos sitios, esto indicaría que las poblaciones son locales e independientes, donde no se observó una sincronización entre poblaciones de lotes separados espacialmente. Las máximas incidencias y densidades de individuos inmaduros por planta se produjeron mayoritariamente entre la 3^{ra} y la 5^{ta} semana de muestreo, provocando por lo general un solo pico de abundancia que coincidió con la fase vegetativa del cultivo.

El complejo parasítico de *P. xylostella* en la RAC está formado por 4 especies de parasitoides y un hiperparasitoide ocasional. Las tres especies que provocaron el mayor parasitismo en los tres años de estudio fueron: *Siphona* sp, *Diadegma leontinae* y *Apanteles*

piceotrichosus. Con respecto al género *Siphona* sp. es el primer registro como parasitoide de *P. xylostella* en la RAC. En otros estudios realizados en Argentina por Pecorari (2014) y Bertolaccini *et al.* (2010), *O. sokolowskii* fue la especie que predominó, sin embargo, los resultados aquí presentados concuerdan con Marchioro y Foerster (2016) para el sur del Brasil. La variación en la abundancia de las diferentes especies de parasitoides fue similar a la de *P. xylostella*, es decir, se comportó de forma independiente en los lotes estudiados. Según lo observado en este trabajo de tesis, el parasitismo de *D. leontinae*, *A. piceotrichosus* y *Siphona* sp. está relacionado con la abundancia del huésped, lo que indica una relación dependiente de la densidad. Estos resultados también fueron observados por (Marchioro y Foerster, 2016). *Diadegma leontinae* cuya distribución se ubica en la Región Neotropical meridional que incluye a Argentina, Uruguay, Chile y Brasil (Azidah *et al.*, 2000) se presenta como un parasitoide local con enorme potencial para ser tomado en cuenta en un programa de control biológico de conservación.

La cantidad y calidad de los nutrientes de la planta huésped afectan a la supervivencia y reproducción de las plagas que se alimentan de ella, lo cual demuestra que la dieta de un insecto influye considerablemente en su desarrollo (Soufba *et al.*, 2011). Las brassicáceas se caracterizan por producir una amplia gama de compuestos secundarios (glucosinolatos), que al ponerse en contacto con una enzima propia de las brassicáceas (mirosinasa), genera compuestos tóxicos para insectos herbívoros generalistas (Talekar y Shelton, 1993; Hopkins *et al.*, 2009). Por su parte *P. xylostella* es una plaga especialista de brassicáceas que posee en el lumen intestinal a la glucosinolato sulfatasa, que inhibe la acción de estos compuestos tóxicos, por lo que no tiene ningún efecto sobre el rendimiento larval (Ratzka *et al.*, 2002; Müller *et al.*, 2010). Cuando se presentan individualmente o en mezclas, los glucosinolatos actúan como estimulantes de la oviposición para *P. xylostella* (Badenes *et al.*, 2010, 2011), mientras que otros glucósidos actúan como estimulantes específicos de ubicación y alimentación (Talekar y Shelton, 1993). Un aumento del contenido de glucosinolatos se asociaría con la preferencia de oviposición por parte de la PDD, es decir que concentraciones más altas de glucosinolato serían las preferidas para la oviposición por parte de esta plaga. Además de estos compuestos, la

preferencia de oviposición podría verse influida por la fertilización azufrada (Badenes *et al.*, 2010), indicando que el manejo de los lotes también influiría en este proceso.

En este estudio se observó que las hembras de *P. xylostella* prefirieron oviponer en plantas de repollo blanco en primer lugar, seguida de repollo morado, coliflor, brócoli, repollito de Bruselas y por último la acelga. Aunque las hembras prefirieron el repollo blanco para oviponer, *P. xylostella* pudo completar su ciclo de vida en las cinco variedades de brasicáceas ofrecidas, excepto en la acelga; presentando la mayor supervivencia en la coliflor. Los glucosinolatos no son los únicos factores que afectan a la oviposición en *P. xylostella*. También se ha demostrado que la densidad de los tricomas afecta a la preferencia de oviposición, mientras que las ceras actúan sinérgicamente con los glucosinolatos (Badenes *et al.*, 2020). Se ha demostrado también que los cultivares brillantes con poca cantidad de cera en sus hojas son los preferidos por *P. xylostella* para la oviposición frente a los cultivares cerosos, a pesar de tener menor supervivencia de sus larvas (Badenes *et al.*, 2004, 2020), como sucedió en el presente trabajo. Para las larvas de *P. xylostella*, además de los glucosinolatos, se ha demostrado que los flavonoides de *Brassica oleracea* actúan como estimulantes de la alimentación, mientras que las saponinas se asociarían con su rechazo (van Loon *et al.*, 2002). La mortalidad en los primeros estadios larvarios de los lepidópteros es elevada. Se pierden entre el 9 y el 96% de los primeros estadios, con un nivel habitual de mortalidad de entre el 25 y el 75% (en 80 especies). Así, al final del primer estadio, una cohorte de 100 huevos se habrá reducido a una media de 27 individuos (Zalucki *et al.*, 2002).

Propuesta de Manejo Integrado de *Plutella xylostella*

A partir de la información obtenida en el presente trabajo de investigación se considera que el Manejo Integrado de *Plutella xylostella* en las brasicáceas cultivadas debe involucrar prácticas de prevención desde la etapa de vivero. Se sugiere la implementación del monitoreo de adultos en los viveros para evitar la cópula y oviposición en los plantines. En los campos de cultivo es necesario que los productores implementen la práctica de monitoreo de huevos en las plántulas listas para el trasplante. El pequeño tamaño de los huevos motiva el uso de una lupa

de campo. Los resultados presentados en esta Tesis Doctoral mostraron que el desarrollo de las poblaciones que afectan al lote depende casi exclusivamente de las cualidades del lote y de su manejo. Posteriormente al arribo de algunos individuos que colonizan el lote, la población incrementa su número dentro de este. Evitar que las hembras copulen y ovipongan nuevamente en los lotes recientemente colonizados es una prioridad para el manejo de esta plaga.

Entre las diferentes estrategias para lograr este objetivo se podría utilizar métodos de interrupción del apareamiento mediante feromonas sexuales de *P. xylostella*. Este tipo de feromonas y sus análogos son esenciales para el manejo integrado de plagas (MIP) con respecto a la vigilancia, la captura masiva y la interrupción del apareamiento de las plagas (Renou y Guerrero, 2000). El uso de feromonas sexuales para regular a las plagas también es compatible con otras estrategias como el uso de enemigos naturales en MIP (Cook *et al.*, 2007; Pickett *et al.*, 2014). Como segunda medida es fundamental el monitoreo de los estados inmaduros de la PDD desde etapas tempranas del cultivo. Finalmente, se deben buscar los mecanismos para desarrollar protocolos de conservación de los tres parasitoides más importantes del complejo parasítico de *P. xylostella* localizado en la RAC. De ser necesario acudir al uso de insecticidas específicos sobre todo en etapas tempranas del cultivo, así como primeros estadios de la PDD, debido a que los insecticidas aplicados durante la floración son los que más pueden amenazar a las poblaciones de parasitoides (Ulber *et al.*, 2010).

El uso de insecticidas específicos puede disminuir el daño a los parasitoides y contribuir a su conservación. Las aplicaciones en etapas tempranas del cultivo tendrán un efecto beneficioso porque el daño que causan pocas larvas en una planta pequeña es mayor que en una planta grande. De los resultados aquí obtenidos resulta evidente que los estadios larva 3, larva 4 y la pupa son los inmaduros que más sobreviven y que por tanto tienen mayores posibilidades de llegar a adulto. Es necesario poner énfasis en su manejo ya que estos poseen el potencial de alcanzar el estado adulto, dejar descendencia y por tanto provocar una mayor abundancia de la plaga en la siguiente generación.

Perspectivas futuras

Ciencias Agrarias y Ciencias de la vida: dos miradas que deben encontrarse

Según la UNESCO (1988) la producción de cultivos es una subdisciplina de la Agronomía que es parte de las Ciencias Agrarias, mientras la Ecología es una subdisciplina de la Biología de los insectos (Entomología) y está contenida en las Ciencias de la vida. La Ecología estudia la relación que establecen los seres vivos y el ambiente en el que se desarrollan. Esta rama de la Biología estudia también la distribución y el porqué de la abundancia particular en este caso de los insectos en un área determinada (Begon *et al.*, 2006). Por su parte la producción de cultivos se puede entender como el conjunto de saberes aplicados a mejorar la calidad de los procesos de producción agrícola y alimentario. La conjunción de las Ciencias de la Vida y las Ciencias Agrarias resulta evidente y necesaria por su complementariedad, donde la una genera el conocimiento y la otra justifica la necesidad de la generación de ese conocimiento para mejorar la calidad de vida de las personas. Es necesario que el enfoque investigativo de las Ciencias de la Vida complemente de manera directa al enfoque productivo de las Ciencias Agrarias y así las dos aporten al mejoramiento del Manejo Integrado de Plagas. Este aporte contribuirá a mejorar la calidad de vida de los agricultores y de la población en general como consumidores de los productos del agro.

Propuesta de líneas de investigación

Para complementar el presente trabajo se proponen las siguientes líneas de investigación:

- Estudiar la dinámica de adultos de *Plutella xylostella* en los campos de cultivo y en las malezas adyacentes de la zona de estudio.
- Realizar los estudios de la resistencia de la PDD a los pesticidas utilizados en la producción de brasicáceas en la RAC.
- Evaluar en condiciones de laboratorio la preferencia de los parasitoides por los diferentes estadios de la PDD.

- Estudiar del papel de *Conura pseudofulvovariegata* en el complejo parasítico de *P. xylostella*.
- Evaluar la susceptibilidad de los adultos parasitoides de la PDD a los pesticidas utilizados en la RAC.
- Evaluar la relación tritrófica entre la PDD- planta hospedera-parasitoide.
- Evaluar las fuentes naturales de alimentación de los adultos parasitoides.
- Evaluar la influencia del manejo del cultivo en las poblaciones de *P. xylostella* en la RAC

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Azidah, A., Fitton, M., & Quicke, D. (2000). Identification of the *Diadegma* species (Hymenoptera: Ichneumonidae, Campopleginae) attacking the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of Entomological Research*, 90(5), 375–389. <https://doi.org/10.1017/S0007485300000511>
- Badenes, F., Gershenson, J., & Heckel, D. (2020). Plant glucosinolate content increases susceptibility to diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) regardless of its diet. *Journal of Pest Science*, 93, 491–506.
- Badenes, F., Reichelt, M., Gershenson, J., & Heckel, D. (2011). Phylloplane location of glucosinolates in *Barbarea* spp. (Brassicaceae) and misleading assessment of host suitability by a specialist herbivore. *New Phytologist*, 189(2), 549–556. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03486.x>
- Badenes, F., Reichelt, M., & Heckel, D. (2010). Can sulfur fertilisation improve the effectiveness of trap crops for diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)? *Pest Management Science*, 66(8), 832–838. <https://doi.org/10.1002/ps.1949>
- Badenes, F., Shelton, A., & Nault, B. (2004). Evaluating trap crops for diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 97(4), 1365–1372. <https://doi.org/10.1093/jee/97.4.1365>
- Begon, M., Townsend, C., & Harper, J. (2006). *Ecology. From Individuals to Ecosystems* (4th ed.). Blackwell Publishing.
- Bertolaccini, I., Sánchez, D., & Arregui, C. (2010). Incidencia de algunos factores naturales de mortalidad de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), en el área centro-este de Santa Fe, Argentina. *Horticultura Argentina*, 29(68), 20–24.
- Cook, S., Khan, Z., & Pickett, J. (2007). The use of push-pull strategies in Integrated Pest Management. *Annual Review of Entomology*, 52, 375–400. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091407>
- Hopkins, R., van Dam, N., & van Loon, J. (2009). Role of glucosinolates in insect-plant relationships and multitrophic interactions. *Annual Review of Entomology*, 54, 57–83. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090623>

- Marchioro, C., & Foerster, L. (2016). Biotic factors are more important than abiotic factors in regulating the abundance of *Plutella xylostella* L., in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 60(4), 328–333. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2016.06.004>
- Müller, R., de Vos, M., Sun, J., Sønderby, I., Halkier, B., Wittstock, U., & Jander, G. (2010). Differential effects of indole and aliphatic glucosinolates on Lepidopteran herbivores. *Journal of Chemical Ecology*, 36(8), 905–913. <https://doi.org/10.1007/s10886-010-9825-z>
- Pecorari, M. (2014). *Variación temporal de Plutella xylostella y de su complejo de parasitoides en lotes hortícolas de coles del cinturón verde de la ciudad de Córdoba*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 55 pp.
- Pickett, J., Woodcock, C., Midega, C., & Khan, Z. (2014). Push-pull farming systems. *Current Opinion in Biotechnology*, 26, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.12.006>
- Ratzka, A., Vogel, H., Kliebenstein, D., Mitchell, T., & Kroymann, J. (2002). Disarming the mustard oil bomb. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 99(17), 11223–11228.
- Renou, M., & Guerrero, A. (2000). Insect parapheromones in olfaction research and semiochemical-based pest control strategies. *Annual Review of Entomology*, 48, 605–630. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.605>
- Soufbaf, M., Fathipour, Y., Karimzadeh, J., & Zalucki, M. (2011). Bottom-Up effect of different host plants on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): A Life-Table study on Canola. *Journal of Economic Entomology*, 103(6), 2019–2027. <https://doi.org/10.1603/ec10010>
- Talekar, N., & Shelton, A. (1993). Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annual Review of Entomology*, 38(92), 275–301 <https://doi.org/10.1136/bmj.1.5851.492-a>
- Ulber, B., Klukowski, Z., & Williams, I. (2010). Impact of insecticides on parasitoids of oilseed rape pests. In I. Williams (Ed.), *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests* (pp. 337–355). Springer Science+Business Media B.V.
- UNESCO. (1988). Proposed International Standard Nomenclature for fields of Science and Technology. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*, 1–19. <http://www.unesco.org/new/en/unesco/>

- van Loon, J., Zhu, C., Nielsen, J., Gols, R., & Qiu, Y. (2002). Flavonoids from cabbage are feeding stimulants for diamondback moth larvae additional to glucosinolates: Chemoreception and behaviour. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *104*, 27–34.
- Zalucki, M., Clarke, A., & Malcolm, S. (2002). Ecology and behavior of first instar larval Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, *47*, 361–393.