



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# **Desarrollo de atracticidas para el manejo integrado de *Plutella xylostella* en *Brassica napus***

Agustina ARMAND PILÓN DUBROCA

Magíster en Ciencias Agrarias  
opción Ciencias Vegetales

Febrero 2022

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Dra. Valentina Mujica, Dra. Paula Altesor y Dra. Silvina Niell, el 29 de abril de 2022.

Autora: Ing. Agr. Agustina Armand Pílon Dubroca.

Directora: Dra. Viviana Haguaburu.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutora de tesis Dra. Viviana Haguaburu, por la confianza depositada a la hora de realizar el trabajo de tesis, por su paciencia y apoyo constante.

A los Ing. Agr. Mag. Silvana Abbate y Horacio Silva, por ser parte también de esta tesis, por sus consejos y apoyo incondicional.

A Óscar Bentancourt, por su enorme ayuda en Estadística.

A Beatriz Scatoni, Andrés González y Sebastián Mazzilli, quienes ayudaron mucho con sus aportes y comentarios.

A quienes me ayudaron en el trabajo de campo y laboratorio Belén Guimaraens, Nicolás Cortazzo, Estefany Suarez, Ana Paula Paullier, Julio Mosqueira, Reinaldo Quintana y Federico Domínguez.

A ANII por la Beca de Maestría otorgada (POS\_NAC\_2017\_1\_141443) y al proyecto D2C2-Fondo Vaz Ferreira para la realización de este trabajo.

A compañeros y amigos que conocí durante la maestría y que hoy me siguen acompañando.

A mi familia y amigos.

## TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
RESUMEN .....	VI
SUMMARY .....	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	VII
1.1 <i>BRASSICA NAPUS</i> (L.) EN URUGUAY .....	1
1.2 INSECTOS EN COLZA .....	2
1.3 <i>PLUTELLA XYLOSTELLA</i> (L.) EN COLZA .....	5
1.4 MANEJO DE <i>P. XYLOSTELLA</i> .....	8
1.4.1 <u>Control etológico de <i>P. xylostella</i></u> .....	10
1.4.2 <u>Monitoreo poblacional con trampas de feromonas</u> .....	11
1.4.3 <u>Control de plagas con feromonas</u> .....	11
1.4.3.1 <i>Atracticidas o attract and kill</i> .....	12
1.4.4 <u>Feromona sexual de <i>P. xylostella</i></u> .....	13
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	15
2.1 CRÍA DE <i>PLUTELLA XYLOSTELLA</i> EN LABORATORIO .....	15
2.2 ENSAYO DE EVALUACIÓN DE ALIMENTOS EN EL DESARROLLO, SUPERVIVENCIA, PARÁMETROS REPRODUCTIVOS Y DEMOGRÁFICOS DE <i>PLUTELLA XYLOSTELLA</i> .....	17
2.2.1 <u>Desarrollo y supervivencia</u> .....	17
2.2.2 <u>Parámetros reproductivos y demográficos</u> .....	18
2.2.3 <u>Análisis estadístico</u> .....	19
2.3 FORMULACIÓN DE CEBOS ATRACTICIDAS .....	19
2.3.1 <u>Formulación de la feromona sexual de <i>P. xylostella</i></u> .....	20
2.3.2 <u>Selección de insecticida y soporte para cebo</u> .....	20
2.3.3 <u>Incorporación de matriz pastosa</u> .....	21
2.4 ENSAYOS DE TOXICIDAD DE CEBOS EN LABORATORIO .....	22

2.4.1 <u>Análisis estadístico</u> .....	23
2.5 ENSAYO DE CAMPO EN CULTIVO DE COLZA .....	23
2.5.1 <u>Trampas delta de monitoreo</u> .....	24
2.5.2 <u>Monitoreo de larvas de <i>P. xylostella</i></u> .....	26
2.5.3 <u>Evaluación de cebo atráctico</u> .....	27
2.5.3.1 Trampas engomadas y rendimiento de colza.....	28
2.5.4 <u>Análisis estadístico</u> .....	30
3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	31
3.1 ENSAYO DE EVALUACIÓN DE ALIMENTOS EN EL DESARROLLO, SUPERVIVENCIA, PARÁMETROS REPRODUCTIVOS Y DEMOGRÁFICOS DE <i>PLUTELLA XYLOSTELLA</i> .....	31
3.1.1 <u>Desarrollo</u> .....	31
3.1.2 <u>Supervivencia</u> .....	33
3.1.3 <u>Parámetros reproductivos y demográficos</u> .....	39
3.2 ENSAYOS PRELIMINARES DE TOXICIDAD .....	43
3.2.1 <u>Selección de insecticida y evaluación de soporte para cebo</u> .....	43
3.2.2 <u>Incorporación de matriz pastosa</u> .....	45
3.3 EVALUACIÓN DE TOXICIDAD DE CEBOS EN LABORATORIO.....	46
3.4 ENSAYO DE CAMPO EN CULTIVO DE COLZA .....	51
3.4.1 <u>Trampas delta de monitoreo</u> .....	51
3.4.2 <u>Monitoreo de larvas <i>P. xylostella</i></u> .....	53
3.4.3 <u>Evaluación de cebo atráctico</u> .....	55
3.4.3.1 Monitoreo de otras poblaciones de insectos .....	64
3.4.3.2 Rendimiento de colza.....	67
4. <u>CONCLUSIONES</u> .....	70
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	72
6. <u>ANEXOS</u> .....	95
6.1 DEVELOPMENT AND REPRODUCTIVE POTENTIAL OF <i>PLUTELLA</i> <i>XYLOSTELLA</i> (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) IN FIVE BRASSICACEAE HOSTS .....	95

## RESUMEN

*Plutella xylostella* (L.) es una de las principales plagas de colza (*Brassica napus*), siendo necesarias aplicaciones de insecticidas para su control. El objetivo general del trabajo fue desarrollar una alternativa de manejo de *P. xylostella* en *B. napus* mediante el uso de atracticidas (feromona sexual + insecticida). Se estableció una cría de *P. xylostella* en condiciones de laboratorio (T: 23±2 °C, H: 60 %, F: 14:10). El estudio de la biología del insecto se realizó seleccionando larvas L1, alimentándolas con *B. napus*, *B. carinata*, *B. oleracea var. capitata*, *Rapistrum rugosum* y *Raphanus raphanistrum*. En todos los estados de desarrollo se encontraron diferencias de duración, cumpliéndose más rápido su ciclo en *B. napus* y *R. raphanistrum*. *R. rugosum* presentó la mejor performance reproductiva. Para formular los cebos se elaboró una matriz pastosa con lambdacialotrina (1, 2 y 3 %), lambdacialotrina (1, 2 y 3 %) + feromona (0,1 %) y testigo (sólo matriz pastosa). En ensayos de toxicidad se evaluaron los cebos con machos adultos de 2 días de edad. De forma individual se expuso cada individuo a 1 mL de la matriz pastosa de cada uno de los tratamientos y se evaluó la mortalidad en 5 tiempos. La dosis de insecticida más eficiente fue de 2 %, no encontrándose incompatibilidades con la feromona. El ensayo de campo se realizó en un área de 1,7 ha de colza; se evaluó: lambdacialotrina (2 %) + feromona (0,1 %), feromona (0,1 %) y testigo sin cebo, en dispositivos plásticos con 1 mL de matriz pastosa. Se monitoreó la evolución de *P. xylostella* en el cultivo mediante trampas de feromonas, se observó una tendencia a la baja en la abundancia registrada de la población una vez aplicados los tratamientos. Esta baja abundancia de *P. xylostella* imposibilitó evaluar el efecto atracticida del cebo. Los resultados obtenidos hasta el momento significan un avance en la delimitación de estrategias sustentables para el control de *P. xylostella* en colza.

**Palabras clave:** *Plutella xylostella*, *Brassica napus*, desarrollo, feromona sexual, atracticida

**Attract & kill development for the integrated management of  
*Plutella xylostella* in *Brassica napus***

**SUMMARY**

*Plutella xylostella* (L.) is one of the main pests of rapeseed (*Brassica napus*), requiring insecticide applications for its control. The general objective of this work is to develop an alternative for the management of *P. xylostella* in *B. napus* through attract & kill (sex pheromone + insecticide). A *P. xylostella* brood was established under laboratory conditions (T: 23±2 °C, H: 60 %, F: 14:10). The study of the biology of the insect was conducted with selected L1 larvae, fed with *B. napus*, *B. carinata*, *B. oleracea var. capitata*, *Rapistrum rugosum*, *Raphanus raphanistrum*. Duration differences were found in all stages of development, *B. napus* and *R. raphanistrum*, and presented the best reproductive performance in *R. rugosum*. For the lure formulation, a pasty matrix was elaborated with lambda-cyhalothrin (1, 2 and 3 %), lambda-cyhalothrin (1, 2 and 3 %) + pheromone (0.1 %) and Control (only pasty matrix). In toxicity essays the lures were evaluated with 2-day-old adult males. Each adult was individually exposed to 1 mL of the pasty matrix of each of the treatments and mortality was evaluated in 5 times. The most efficient insecticide dose was 2 %, with no incompatibilities found with the pheromone. A field trial was carried out in an area of 1.7 ha of rapeseed, evaluating lambda-cyhalothrin (2 %) + pheromone (0.1 %), pheromone (0.1 %) and the control without bait in plastic devices with 1 mL of pasty matrix. The evolution of *P. xylostella* in the crop was monitored using pheromone traps, observing a downward trend in the registered abundance of the population, once the treatments were applied. The low abundance of *P. xylostella* did not made possible to evaluate the attract & kill effect of the bait. The results obtained so far represent an advance in the delimitation of sustainable strategies for the control of *P. xylostella* in rapeseed.

**Keywords:** *Plutella xylostella*, *Brassica napus*, development, sex pheromone, attract & kill

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 *BRASSICA NAPUS* (L.) EN URUGUAY

El cultivo de colza (*Brassica napus* L.) es una oleaginosa que pertenece a la familia Brassicaceae, siendo uno de los grupos domesticados más tempranamente (Downey, 1983). Surge a partir de la cruce interespecífica de dos especies *Brassica campestris* y *Brassica oleracea*, y se acepta en general que tiene su origen en Europa y Asia (Lu et al., 2019). La familia de las brasicáceas se caracteriza por contar con la presencia de glucosinolatos, metabolitos secundarios que varían en cantidad y composición de acuerdo a la especie, cumpliendo diferentes funciones dentro de las plantas (Tripathi y Mishra, 2007, Sarfraz et al., 2006). A pesar de su temprana domesticación con un auge a partir de la década del 60, el alto contenido de ácido erúxico y glucosinolatos del aceite, podían ser perjudiciales para el consumo humano y la alimentación de animales (Castell y Frank, 1980, McGregor y Downey, 1975). Es por esto que dado el contenido de ácido erúxico y glucosinolatos del aceite y debido a la gran expansión del cultivo en el mundo, en 1974, mejoradores canadienses de la Universidad de Manitoba desarrollaron el primer cultivar de colza llamado "Tower". Este cultivar presenta bajo nivel de ácido erúxico, volviéndolo apto para consumo humano, así como bajo contenido de glucosinolatos, lo que permite el uso de su harina para alimentación de animales. El nombre que recibe esa variedad es Canola (Canadian Oil Low Acid).

En la actualidad Canadá es el principal productor (18.648.800 toneladas), produciéndose también en más de 68 países en todas las regiones del mundo (FAOSTAT, 2021). Ocupa el segundo lugar después de la soja en cuanto a producción de aceite y consumo mundial de semillas oleaginosas (USDA, 2021). El cultivo de colza ha tomado un papel importante como fuente

de energía renovable, como lo es el biodiésel para el transporte, además de su importante papel como alimento nutricional (Ahuja et al., 2011).

Recientemente, el cultivo de colza en Uruguay se incorpora como parte de la rotación de cultivos de invierno, teniendo características agronómicas que lo hacen un cultivo promisorio (Martino y Ponce de León, 1999). El área sembrada con colza en Uruguay entre los años 1991 al 1999 no superaba las 300 hectáreas (Martino y Ponce de León, 1999). A partir de año 2004 tuvo un importante impulso por parte de varias empresas que lograron un aumento de área a 1400 hectáreas. El auge de este cultivo en Uruguay desde 2010, estuvo dado principalmente por Alcoholes del Uruguay (ALUR) junto a productores, para la producción de biodiésel, glicerina y proteína (Mazzilli et al., 2016). Al año 2019 el área siguió en aumento con datos oficiales de 55000 hectáreas cosechadas y una producción de 90700 toneladas (FAOSTAT, 2021). Durante el invierno 2020 el área de colza superó las 100.000 hectáreas, con un rendimiento promedio de 1800 kg/ha (Observatorio de Oleaginosos Uruguay, 2021).

En nuestro país este cultivo enfrenta una serie de limitantes dada su reciente incorporación. En los últimos años se han llevado adelante proyectos para poder levantarlas, principalmente en aspectos ecofisiológicos, buscando de esa manera mejorar las prácticas de manejo (Mazzilli et al., 2014). Si bien los insectos plaga en colza no son, en general, una limitante en Uruguay, con el aumento del área se proyecta que sí lo sean (Martino y Ponce de León, 1999), como en el resto de las regiones donde se produce en grandes áreas.

## 1.2 INSECTOS EN COLZA

Dado el aumento en la calidad del aceite y el volumen de extracción, el cultivo de colza ha adquirido gran importancia a nivel mundial, siendo considerado un cultivo de valor económico que tiene interés agroindustrial. Es por ello que los insectos plaga que provocan mermas en el rendimiento se han

vuelto muy importantes como factores reductores del rendimiento actual (Fathipour y Mirhosseini, 2017).

La familia de las brasicáceas tiene varias especies cosmopolitas y, por tanto, también muchos de los insectos que las visitan tienen esa característica. Pero de acuerdo a la región del mundo en que se cultiven esas especies, diferentes insectos pueden considerarse plaga y causar daños económicos (Lamb, 1989). Dentro de los órdenes en que encontramos especies plagas de las brasicáceas se encuentran los lepidópteros, coleópteros, dípteros, himenópteros y homópteros (Ahuja et al., 2011).

En una encuesta realizada a productores de colza de diferentes países de Europa se concluye que ocho especies (seis coleópteros y dos dípteros) de insectos plaga necesitaron control (Williams, 2010). En cambio, en Pakistán, una de las limitantes que tienen estos cultivos oleaginosos es el daño que causan los insectos plaga. En el trabajo realizado por Aslam y Razaq (2007) registraron principalmente la presencia de pulgones de las especies *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) y *Lipaphis erysimi* (Hemiptera: Aphididae) como principales plagas durante el año 2003, a pesar de que hay registro de más insectos que atacan estos cultivos en el subcontinente indio.

En Canadá, que es el principal productor de colza a nivel mundial, el cultivo es afectado por varias especies de insectos. En la región oeste se registran como principales especies plagas insectos de los órdenes coleóptera (4), lepidóptera (5), díptera (5) y hemíptera (4), pudiendo ser tanto nativos como invasores (Dosdall et al., 2011a). En un trabajo reciente realizado en Estados Unidos mencionan a las siguientes especies como los principales insectos plaga de canola: *Ceutorhynchus assimilis* (Coleoptera: Curculionidae), *Mamestra configurata* (Lepidoptera: Noctuidae), *Phyllotreta cruciferae* (Coleoptera: Chrysomelidae), *Phyllotreta striolata* (Coleoptera: Chrysomelidae), *Lygus lineolaris* (Hemiptera: Miridae) y *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) (Sharma y Reddy, 2020). El cultivo es visitado

también por otras especies, pero en menor medida, como los pulgones *B. brassicae*, *L. erysimi* y varios saltamontes (Weiss et al., 2015).

En Australia, el cultivo es visitado por unas treinta especies de insectos, pero no todas ellas son consideradas plagas. Como principales especies se encuentran ácaros, pulguillas, larvas de lepidópteros y escarabajos en el estado de plántula de canola. Mientras que pulgones (*B. brassicae*, *L. erysimi* y *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae)), lepidópteros (*Helicoverpa punctigera* (Lepidoptera: Noctuidae) y *P. xylostella*) y hemíptero (*Nysius vinitor* (Hemiptera: Lygaeidae)) causan daños en hojas, tallos, flores y silicuas (Gu et al., 2007).

En América del Sur, en el caso de Chile, algunas de las especies que podrían causar daños en el cultivo son las siguientes: *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae), *Chiomyza paulseni* (Diptera: Stratiomyidae), *B. brassicae*, *Copitarsia consueta* (Lepidoptera: Noctuidae), *M. persicae*, *Pieris brassicae* (Lepidoptera: Pieridae), *P. xylostella*, *Rachiplusia nu* (Lepidoptera: Noctuidae) (Gerding, 2009). En Brasil, si bien los trabajos en plagas de canola son escasos, para el momento de emergencia del cultivo pueden causar daño hormigas del género *Atta spp.*, *Acromyrmex spp.* y el coleóptero *Diabrotica speciosa* (Coleoptera: Chrysomelidae). También en años donde el invierno no es tan frío pueden aparecer hemípteros de la familia Pentatomidae. Sin embargo, como plagas principales se mencionan a *P. xylostella* y pulgones *B. brassicae* y *M. persicae* (Tomm et al., 2009). En Argentina, se citan setenta especies, que pertenecen a nueve órdenes distintos y veinticuatro familias de insectos fitófagos que se pueden encontrar en el cultivo de colza. Dentro de esas especies, como principales se mencionan a *P. cruciferae*, *D. speciosa*, *P. xylostella*, *Acromyrmex lundii* (Hymenoptera: Formicidae), *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae), *B. brassicae* y *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) (Montero et al., 2007).

En Uruguay, Martino y Ponce de León pronosticaban en el año 1999 que el cultivo de colza una vez que alcanzara un área mayor podría ser afectado por insectos plaga. Dentro de estos insectos, y teniendo en cuenta lo que pasaba en el resto del mundo y en la región, *P. xylostella* y *B. brassicae*, serían de las especies más probables. En Uruguay no hay muchos trabajos que detallen los insectos plaga que pueden afectar al cultivo. Castro (2016), menciona como plagas del cultivo de colza en Uruguay a *P. xylostella*, *B. brassicae* y aves plaga. Actualmente, el cultivo de colza recibe una cantidad importante de insecticidas para el control de plagas, principalmente de *P. xylostella* (Mazzilli, S. 2021, comunicación personal), siendo el único método de control. Hasta la fecha, solamente hay cuatro insecticidas registrados para el control de *P. xylostella* en el cultivo de colza, los mismos son REQUIEM 75 WDG y CATCHER 300, de categoría toxicológica IV, mientras que RIMON 10 EC y TIFON son de categoría toxicológica III (MGAP, 2021).

Los trabajos realizados en Uruguay, en el cultivo de colza están mayormente dirigidos a insectos polinizadores, dada su importancia en dicho cultivo (Cracco, 2018, Mazzilli et al., 2020). El uso de insecticidas para el control de *P. xylostella* afecta negativamente a los polinizadores que visitan el cultivo en el momento de la floración, lo cual puede provocar pérdidas en el rendimiento y uniformidad de la colza (Mazzilli et al., 2016). Además, los insecticidas son una de las principales causas de pérdida de colmenas en Uruguay (Antúnez et al., 2017). Siendo tal la problemática con el uso de insecticidas para el control de *P. xylostella*, es que se trabajará en la búsqueda de una alternativa para el control de la misma.

### 1.3 *PLUTELLA XYLOSTELLA* (L.) EN COLZA

*Plutella xylostella* (Linneo) es un lepidóptero que pertenece a la familia Plutellidae. Es una especie cosmopolita y se ubica dentro de los lepidópteros con mayor distribución mundial. Es una de las principales plagas de plantas pertenecientes a la familia Brassicaceae (Golizadeh et al., 2009, Talekar y

Shelton, 1993), capaz de alimentarse tanto de especies cultivadas como silvestres. En Uruguay, *P. xylostella* fue identificada y registrada por primera vez por Ruffinelli y Carbonell en 1944, quienes la consideraron un insecto común y ampliamente distribuido en todo el país.

De acuerdo a la descripción que hacen Bentancourt y Scatoni (2006) de *P. xylostella* en Uruguay, tiene metamorfosis completa, pasando por cuatro estados de desarrollo (huevo, larva, pupa y adulto), con una duración total de 19-28 días, dependiendo de la temperatura. A los adultos se los puede reconocer por tener la cabeza de color blanco amarillenta, antenas claras con anillos oscuros y de 13 a 16 mm de expansión alar. En el macho, el primer par de alas aparece dividido en dos colores en sentido longitudinal: hacia el margen costal, una coloración pardo grisácea con puntos negros y hacia el margen posterior, a modo de franja ondulada, una coloración blanco amarillenta. Cuando el insecto se encuentra en posición de reposo las franjas posteriores de cada lado se juntan y forman en el dorso y a lo largo del cuerpo una banda con tres expansiones a modo de diamante, el cual da origen a su nombre común en inglés diamondback moth y en español polilla dorso de diamante. En cambio, las hembras tienen un diseño similar, pero en un tono más amarillento y uniforme que los machos (Figura 1).



**Figura 1.** Individuos adultos de *Plutella xylostella*, hembra (A) y macho (B).

Los huevos de esta especie son pequeños (0,5 mm de largo y 0,26 mm de ancho), de forma ovalada y ligeramente aplanados. La coloración es amarillo pálido, pero a medida que pasa el tiempo se tornan más oscuros, próximos a la eclosión. La oviposición se da al anochecer, cuando la hembra sondea con la punta de ovipositor y deposita sus huevos en pequeños grupos sobre depresiones de la hoja a lo largo de la nervadura central o superficies cóncavas de las nervaduras; si la planta es pequeña, lo puede hacer en tallos y pecíolos (Harcourt, 1957).

Las larvas una vez que emergen miden 1,5 mm de longitud y su coloración es clara, en tonos grisáceos, con la cápsula cefálica castaño oscura. La larva pasa por cuatro estadios y al final del desarrollo alcanza una longitud de 9 a 11 mm, es de color más bien verdoso y la cabeza castaño claro. En este último estadio se puede distinguir entre machos y hembras por la presencia de las gónadas en el quinto segmento abdominal de los machos (Figura 2), el cual toma una coloración amarilla (Liu y Tabashnik, 1997). Por último, la pupa, con una longitud de 6 a 7 mm, en un principio es de color verde claro y luego se torna castaño oscuro. Se encuentra dentro de un capullo de color blanco, formado por una trama de filamentos sedosos.



**Figura 2.** Larva de cuarto estadio de *P. xylostella* con coloración amarilla en quinto segmento abdominal (presencia de gónadas).

*P. xylostella* genera daño al alimentarse de las hojas, yemas, flores, vainas, tallos y semillas en desarrollo, en cualquiera de las etapas de desarrollo de las plantas (Ahuja et al., 2011, Bentancourt y Scatoni, 2006). El mayor consumo de alimento (80 %) se da en el cuarto estadio larval (Folcia y Bado, 1996). Es capaz de afectar tanto plantas cultivadas como silvestres de la familia de las brasicáceas. Ello lleva a que su control sea difícil, dado que mientras el cultivo de interés es sembrado o muy pequeño, puede desarrollarse en las malezas y luego ingresar a este (Marchioro y Foerster, 2014, Talekar y Shelton, 1993). A pesar de eso en las condiciones de Uruguay, se desconoce como es el comportamiento de *P. xylostella* en especies silvestres, sobre todo en especies como *Raphanus raphanistrum* L. (rábano) y *Rapistrum rugosum* (mostacilla). En el caso del rábano es una problemática para los cultivos por sus elevadas tasas de crecimiento, su gran interferencia en los cultivos de trigo, cebada y colza% y su resistencia a herbicidas (Heap, 2021). Teniendo registros de que en Uruguay se la puede encontrar en varios lugraes y se espera que siga aumentado su presencia en las chacras (Ríos et al., 2005).

#### 1.4 MANEJO DE *P. XYLOSTELLA*

El rango de hospederos y la elasticidad genética de *P. xylostella* le ha permitido a distintas poblaciones adquirir resistencia a la mayoría de los insecticidas aplicados en el campo (Sarfranz et al., 2007). Esta característica de la especie dificulta enormemente su control, además del costo económico que ello implica, siendo la aplicación de insecticidas el principal método de control (Talekar y Shelton, 1993). En la actualidad la suma de los casos de resistencia llega a 101 ingredientes activos en el mundo (Mota-Sanchez y Wise, 2021), dentro de ellos piretroides (Yi et al., 2016, Hama 1987, Liu et al., 1981), organofosforados (Agboyi et al., 2016, Khaliqel et al., 2007), reguladores de crecimiento (Santos et al., 2011, Vattanatangum, 1990) y *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Gong et al., 2010, Iqbal, 1996, Hama et al., 1992).

En Uruguay, si bien *P. xylostella* cuenta con enemigos naturales, depredadores como *Polistes spp.* (Hymenoptera: Vespidae) y *Polybia scutellaris* (Hymenoptera: Vespidae) depredadores generalistas que atacan sus larvas, también se han reconocido tres parasitoides: *Apanteles sp.* (Hymenoptera: Braconidae), *Diadegma leontinae* (Hymenoptera, Ichneumonidae) parasitoides de larvas y *Spilochalcis chapadae* (Hymenoptera: Chalcididae) (Bentancourt y Scatoni, 2006). De todas maneras, el principal método de control para *P. xylostella* en Uruguay es el químico (Castro, 2016), al igual que en otras partes del mundo (Mena y Hernández, 2017, Smith, 2003, Cartwright et al., 1987). Para realizar aplicaciones foliares de insecticidas en el cultivo de colza existen umbrales de daño económico; en implantación el umbral se encuentra cuando del 25 al 33 % de los cotiledones u hojas verdaderas de las plántulas están defoliadas; y de vegetativo a estado de floración, cuando las poblaciones de larvas superen los 100 a 150 por m<sup>2</sup> y de 200 a 300 por m<sup>2</sup> de floración a fructificación (Doddall et al., 2011b).

Shakeel et al. (2017) resumen las diferentes alternativas de control para *P. xylostella*, debido a su capacidad para adquirir resistencia a insecticidas, pero, sobre todo, por los perjuicios causados en el ambiente, apuntando, entonces, a un manejo integrado, teniendo en cuenta la dinámica de las especies en el agroecosistema. También considerando el manejo integrado para *P. xylostella*, por las características de la especie, se han direccionado trabajos hacia el control cultural y biológico a través de la reducción del uso de insecticidas, el uso de bioinsecticidas y la mejora de las condiciones para el desarrollo de parasitoides y predadores (Sarfraz et al., 2005, Smith, 2003).

El manejo integrado de plagas surgió como respuesta al uso de plaguicidas y sus perjuicios al medio ambiente, buscando entender más la ecología de los insectos y cultivos, basándose en el uso de diferentes tácticas (Altieri, 1999). Como estrategias de manejo integrado de plagas, se puede

mencionar el uso de enemigos naturales, los insecticidas biorracionales, el desarrollo de plantas transgénicas y el uso de semioquímicos (Kogan, 1998).

#### 1.4.1 Control etológico de *P. xylostella*

Como estrategias para el control de *P. xylostella* se mencionaron antes el control biológico, cultural y químico, pero también se han desarrollado estrategias de control etológico, es decir, a través del uso de semioquímicos, en particular las feromonas sexuales (McNeil, 1991). El término feromona fue utilizado por primera vez por Karlson y Lüscher (1959) para definir al grupo de sustancias secretadas por glándulas de mariposas hembras que provocaban un efecto en su receptor (macho). El efecto que provoca la feromona de la hembra es de atracción hacia el macho, para que se dé la cópula. Es por esto que la estrategia de manejo se basa en interrumpir la comunicación entre el macho y la hembra, a través de una feromona sexual de origen sintético, emulando los componentes de la feromona sexual que emite la hembra (Gaston et al., 1967). Su uso es cada vez más valorado, dado que estas sustancias no afectan a enemigos naturales, son específicas, eficientes con densidades bajas de población y, además, brindan una alternativa en el manejo sustentable de insectos (Witzgall et al., 2010).

Las feromonas sexuales tienen varios usos. El más ampliamente aplicado en el mundo es el monitoreo de insectos, pero además se pueden diseñar estrategias de control con estos (Thomson et al., 1999). Algunas de las estrategias para el control de plagas con el uso de feromonas sexuales son el trapeo masivo, la confusión sexual y el uso de atracticidas (Witzgall et al., 2010, Phillips et al., 2000). Tal es la importancia del uso de semioquímicos que en la actualidad se llevan identificadas feromonas de 68 familias de lepidópteros y, dentro de ellas, de 1038 géneros, a nivel mundial (El-Sayed, 2021).

#### 1.4.2 Monitoreo poblacional con trampas de feromonas

Las trampas de feromonas sexuales se han convertido en una herramienta útil para el monitoreo de especies plagas dado su potencial para atraer machos adultos. Las trampas de feromonas están conformadas por una estructura que puede ser de diferente material y tamaño, la cual permite la captura de los individuos atraídos (Núñez y Scatoni, 2013). Dentro de esa estructura se encuentra la feromona sintética cargada en septos de goma en cantidades que oscilan entre 0,1 y 1 mg. Este tipo de monitoreo permite obtener información espacial y temporal de la especie de interés, saber si la especie está presente o no y estimar la dinámica de la población (González et al., 2012). Esta información posibilita la utilización de diferentes estrategias de control para la especie, buscando reducir la aplicación de insecticidas (Witzgall et al., 2010).

En cultivos extensivos, algunos ejemplos de insectos plaga donde se han usado feromonas para el monitoreo fueron: *Spodoptera frugiperda* en maíz (Malo et al., 2001), *Crociosema aporema* en soja (Altesor y González, 2013), *Proeulia auraria* y *Proeulia triquetra*, *Pectinophora gossypiella* en algodón (Poemape y Francisco, 2019) y *Spodoptera spp.* en caña de azúcar (Blanco et al., 2020).

#### 1.4.3 Control de plagas con feromonas

Con respecto al uso de feromonas en el control de insectos, existen varias estrategias. Una de ellas es denominada confusión sexual, que consiste en sobrecargar el ambiente con grandes cantidades de feromona sexual y así desorientar al macho en su búsqueda. Como ejemplos de confusión sexual se pueden mencionar el control de la polilla oriental *Cydia molesta* en duraznero (Borroni y Rolando, 1996), el control del barrenador del arroz *Chilo suppressalis* (Serrano et al., 1998) y el manejo de *Lobesia botrana* en viñas (Depetris Nicolás, 2016).

Como ejemplo de uso de feromonas para el control de insectos plaga a través de la confusión sexual, en Uruguay se ha desarrollado con éxito el Programa de Manejo Regional de Frutales de Hoja Caduca (MGAP, 2021). Con dicho programa se ha logrado el control de *Cydia pomonella* (carpocapsa) en cultivos comerciales de frutales de pepita (manzanos y perales), reduciendo la aplicación de insecticidas.

Otros métodos de control con el uso de feromonas son el trampeo masivo y atracticidas o, en inglés, *attract and kill*. Dichos métodos comparten la atracción de los insectos a través del uso de la feromona sexual, al igual que la confusión sexual, pero difieren en la manera en que se logra bajar la población. En el trampeo masivo se reduce la población a través de trampas, donde los insectos quedan atrapados en un adhesivo, depósito de agua u otra forma de retención. Como ejemplos de este método se pueden citar: control del gorgojo *Metamasius hemipterus* de la caña de azúcar (Oviedo et al., 1996), control de la broca *Hypothenemus hampei* en el café (Barrera et al., 2006) y control de los insectos carpófagos del castaño (Romero, 2013).

#### 1.4.3.1 Atracticidas o *attract and kill*

En el método de atracticidas, la muerte de los insectos se produce a través del uso de insecticidas de contacto. En este método no se utilizan trampas para atrapar a los insectos; por ello, lograr el contacto con el insecticida es fundamental para el éxito. De igual manera, se requiere que la feromona sintetizada emule de forma precisa la feromona natural. Como vehículo para la aplicación de atracticidas se utiliza gel, pasta o cera, para su posterior aplicación en el campo. A la hora de formular atracticidas se debe tener presente que el insecticida utilizado no genere repelencia y que cause el efecto tóxico rápido en la dosis utilizada cuando el insecto se pone en contacto (El-Sayed et al., 2009).

Algunos ejemplos del uso de atracticidas se mencionan a continuación: evaluación de una formulación atracticida para control de *Cydia pomonella* en manzanos (Curkovic y Brunner, 2003), control de *Ceratitis capitata* en cítricos (Navarro-Llopis et al., 2013), control del picudo algodónero (Mondino, 2018) y manejo de *Tecia solanivora* en el cultivo de papa (Gamarra y Kreuze, 2020).

#### 1.4.4 Feromona sexual de *P. xylostella*

La feromona sexual de *P. xylostella* fue aislada por primera vez de glándulas abdominales de hembras, descrita por Chow y colaboradores en 1974. Identificaron como componentes principales (*Z*)-11-hexadecenal (Z11-16:Ald) y acetato de (*Z*)-11-hexadecenilo (Z11-16:Ac) (Tamaki et al., 1977). Con el pasar del tiempo y ensayos en diferentes partes del mundo se encontraron variaciones en cuanto a los componentes principales de acuerdo a la ubicación geográfica de la especie (Lee et al., 2005, Zilahi-Balogh et al., 1995). Yang y colaboradores en 2007, a través del análisis de los extractos de glándulas, revelaron que las hembras producen Z11-16: Ald, Z11-16:Ac y Z11-16: OH en una proporción de 8:100:18.

Al igual que para muchas especies de insectos, la feromona sexual de *P. xylostella* ha sido y sigue siendo motivo de estudio para su uso e implementación, tanto para el monitoreo (Nofemela, 2010, Morales et al., 1997, Reddy y Urs, 1996) como para el control de dicha especie (Wang et al., 2019, Maxwell et al., 2006, Wang et al., 2004, Reddy y Guerrero, 2000, Schroeder et al., 2000).

En 2014, Del Socorro y colaboradores reportaron el uso de atracticidas para el control de *P. xylostella* en colza. Los autores realizaron el estudio a campo en gran escala utilizando como atractivo el producto Magnet™, basado en volátiles de origen vegetal, mientras que al control de la plaga lo hicieron a través de aplicación aérea, sin confinar el insecticida.

En el caso de Argentina y Uruguay, se han reportado resultados alentadores en cuanto a la formulación de sintética de la feromona sexual de *P. xylostella* y a su uso para el monitoreo de esta (Tacain et al., 2016, Fernández et al., 2015). Como antecedente de este trabajo, en Paysandú se realizó un estudio en un predio cercano a la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (Paysandú-Uruguay), en un cultivo de colza. Se realizó el monitoreo de *P. xylostella*, utilizando trampas de monitoreo cebadas con la feromona sexual ((Z)-11-hexadecenal, (Z)-11-hexadecenol y acetato de (Z)-11-hexadecenilo, en proporciones 8:18:100) sintetizada por nuestro grupo. Los resultados del monitoreo fueron alentadores, al mostrar efectividad del método de monitoreo para detectar la presencia de la plaga (Tacain et al., 2016).

Con lo expresado antes como introducción y antecedentes de este trabajo, el objetivo general fue desarrollar una alternativa de manejo integrado de *P. xylostella* en *B. napus* mediante el uso de atracticidas y ampliar los conocimientos respecto a su biología en diferentes especies vegetales.

Los objetivos específicos fueron los siguientes: (i) estudiar la biología, desarrollo y reproducción de *P. xylostella* alimentada con diversas especies vegetales, (ii) formular cebos atracticidas con feromona sexual de *P. xylostella* e insecticida, (iii) evaluar el efecto atracticida de los cebos en ensayos de laboratorio con machos adultos de *P. xylostella* y (iv) evaluar a campo los cebos atracticidas en *B. napus*.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 CRÍA DE *PLUTELLA XYLOSTELLA* EN LABORATORIO

Como inicio de este trabajo fue necesario establecer la cría de *Plutella xylostella* en condiciones de laboratorio y, de esa manera, obtener los individuos para los diferentes ensayos a realizar.

La cría de *P. xylostella* se realizó en el Laboratorio de Entomología de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (Paysandú-Uruguay) adaptando el método de cría de Machiuro y Foester (2011). Se colectaron adultos de cultivos comerciales de *Brassica napus* y *Brassica carinata*, y malezas de la familia Brassicaceae. Una vez colectados fueron llevados al laboratorio en condiciones controladas de temperatura ( $23 \pm 2$  °C), humedad (60 %) y fotoperíodo (14:10). Se dispusieron juntos en grupos de 3 o 4 individuos (dado que no se tenía seguridad en el sexado), en recipientes de plástico de 3,5 cm de alto y 8 cm de diámetro, cubriendo la parte superior con una tapa de vidrio. Se colocó en el fondo del recipiente papel absorbente y un trozo de hoja de colza o repollo para estimular la oviposición y que las hembras depositen allí sus huevos. Estos adultos fueron alimentados mediante una tapa de plástico con algodón embebido en agua y miel (Figura 3).

A los huevos obtenidos de cada pareja se los colocó en recipientes plásticos cubiertos de papel film, donde se realizaron orificios para ventilación; cuando las larvas emergieron se las alimentó con hojas de colza o repollo. Una vez alcanzado el estadio de larva 4 (Figura 4), fueron sexadas; los machos fueron identificados por una coloración amarillenta en el quinto segmento abdominal (Liu y Tabashnik, 1997), donde se ubican las gónadas. Cuando las larvas empupaban, eran colocadas de forma individual en tubos de vidrio de 5 cm de largo y 1 cm de diámetro, con tapa de algodón, hasta la

emergencia del adulto, para luego volver a formar parejas y continuar con la cría.



**Figura 3.** Recipiente con tres individuos adultos de *P. xylostella* en laboratorio.



**Figura 4.** Larvas de *P. xylostella* en estadio de larva 3 y 4, alimentándose de hoja de colza.

## 2.2 ENSAYO DE EVALUACIÓN DE ALIMENTOS EN EL DESARROLLO, SUPERVIVENCIA, PARÁMETROS REPRODUCTIVOS Y DEMOGRÁFICOS DE *PLUTELLA XYLOSTELLA*

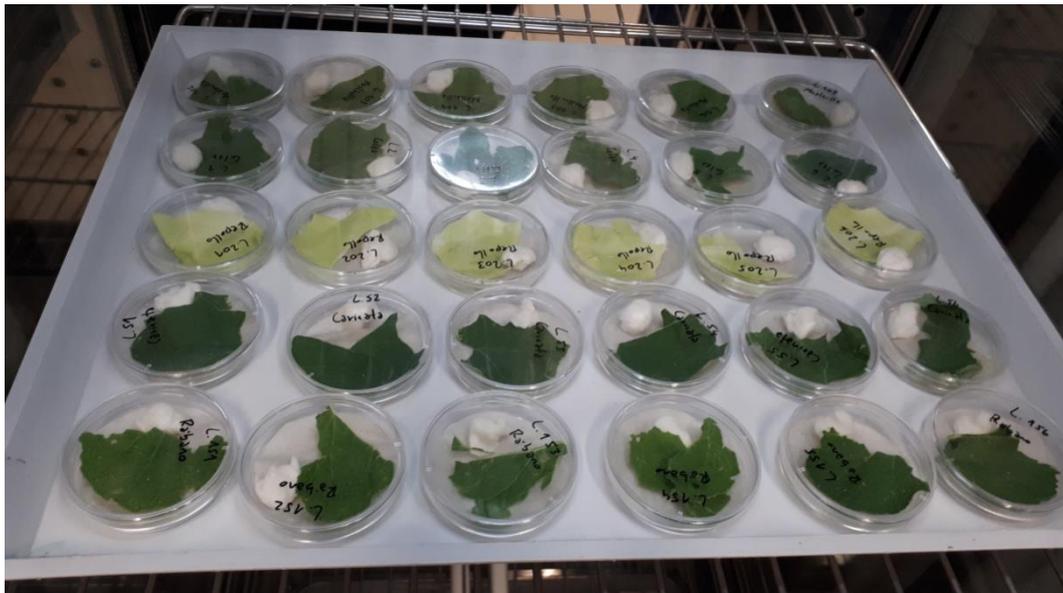
### 2.2.1 Desarrollo y supervivencia

Una vez emergidos los adultos provenientes de la cría, fueron colocados en parejas (1 hembra y 1 macho por recipiente). Los huevos obtenidos por cada pareja fueron debidamente identificados y mantenidos en condiciones controladas hasta la obtención de larvas en estado 1. Las larvas fueron dispuestas al azar en cajas de petri de plástico de 5 cm de diámetro y 1,3 cm de altura, con papel absorbente en el fondo, algodón embebido en agua y una porción de hoja de alguno de las cinco especies vegetales evaluadas, con reposición diaria. Las especies evaluadas pertenecían a la familia Brassicaceae y eran: *Brassica napus* (colza), *Brassica carinata* (carinata), *Brassica oleracea var. capitata* (repollo), *Rapistrum rugosum* (mostacilla) y *Raphanus raphanistrum* (rábano) (Figura 5).

Las especies vegetales utilizadas fueron obtenidas de parcelas experimentales de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni”. La colza utilizada fue de la variedad Rivette y la carinata de variedad Avanza 641, mientras que las malezas o especies silvestres utilizadas como alimentos (mostacilla y rábano) para este ensayo fueron colectadas de bordes del área experimental. De las especies vegetales antes mencionadas se colectaron hojas frescas de la zona media de la planta, colectadas en estado de floración y sin aplicación de insecticidas. El repollo fue obtenido en el mercado comercial y debidamente lavado antes de su uso.

Para cada uno de los cinco alimentos (especies vegetales) evaluados fueron utilizadas 50 larvas en estado L1, mantenidas en una cámara de cría en condiciones controladas: temperatura ( $23 \pm 2$  °C), humedad ( $60 \pm 5$  %) y fotoperíodo (luz:oscuridad) de 14:10 horas en el Laboratorio de Fitopatología

de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni”. De las 250 larvas L1 seleccionadas para el ensayo, se registró la fecha en que cambiaron de estadio y de estado (larva, prepupa, pupa y adulto) y el día en que murieron. Una vez que las larvas alcanzaron el estadio de larva 4 se las separó por sexo, para luego formar parejas entre individuos alimentados con la misma especie vegetal.



**Figura 5.** Cajas de petri de plástico de 5 cm de diámetro y 1,3 cm de alto, conteniendo una de las cinco especies vegetales y larva de estadio 1.

### 2.2.2 Parámetros reproductivos y demográficos

Una vez alcanzado el estado adulto, machos y hembras obtenidos con un determinado alimento fueron dispuestos en parejas. Los huevos obtenidos de cada pareja fueron extraídos y colocados en cajas de petri de 5 cm de diámetro y 1,3 cm de altura. Se mantuvieron en la cámara de cría hasta la emergencia de las larvas. Con los valores obtenidos para cada alimento se realizaron tablas de vida adoptando la metodología utilizada por Portilla et al. (2014). Los parámetros demográficos obtenidos mediante las tablas de vida, fueron: tasa reproductiva neta ( $R_0$ ), tiempo generacional ( $T$ ), tasa intrínseca

de incremento ( $r_m$ ), tasa finita de crecimiento ( $\lambda$ ) y tiempo de duplicación (DT). Se calculó también la cantidad de huevos ovipositados, emergidos (fecundidad) y la longevidad de las hembras según el alimento suministrado.

### 2.2.3 Análisis estadístico

Para el análisis del tiempo de desarrollo (media  $\pm$  EE), huevos ovipositados y emergidos (fecundidad) (media  $\pm$  EE) y longevidad de hembras (días) se ajustó un modelo lineal generalizado asumiendo que la variable analizada tiene distribución Gamma. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significatividad del 5 %. Se usó el procedimiento Glimmix del paquete estadístico SAS On Demand for Academics versión 9.04 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2018). Para el análisis de supervivencia de todos los individuos se ajustó un modelo lineal generalizado con distribución Gamma y para el análisis de supervivencia de los estados de larva y adulto se ajustó un modelo de supervivencia exponencial con un indicador de censura (1 indica que el individuo en ese momento está muerto y 0, que estaba vivo la última vez que se lo vio). De dichos modelos se obtuvieron las curvas de supervivencia de Kaplan-Meier; además, se compararon tratamientos (alimentos) a través de intervalos de confianza de 95 %; se utilizó la metodología de Crawley (2012) en el software estadístico R.

## 2.3 FORMULACIÓN DE CEBOS ATRACTICIDAS

Los ensayos de toxicidad con insecticidas se realizaron en el Laboratorio de cría de Entomología de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (Paysandú-Uruguay), en condiciones controladas de fotoperíodo (14:10) y temperatura ( $23 \pm 2$  °C).

### 2.3.1 Formulación de la feromona sexual de *P. xylostella*

Se formuló la feromona sexual de *P. xylostella* en el Departamento de Química del Litoral, emulando la composición de la feromona sexual natural, cuyos componentes son (*Z*)-11-hexadecenal, acetato de (*Z*)-11-hexadecenilo y (*Z*)-11-hexadecenol, en proporciones 8:18:100, respectivamente. Esta formulación fue utilizada previamente por nuestro grupo de trabajo para el monitoreo a campo de *P. xylostella* en colza (Tacain et al., 2016). Dicha formulación fue la utilizada para los ensayos de laboratorio y campo que siguen a continuación.

### 2.3.2 Selección de insecticida y soporte para cebo

Como paso previo a la formulación de los cebos atrácticos en laboratorio, se evaluaron diferentes principios activos y dosis para identificar el más efectivo en mortalidad de adultos. Para la realización de estos ensayos y los de toxicidad, se adaptaron y fusionaron metodologías de diferentes autores (Maxwell et al., 2006, Mitchell, 2002, De Souza et al., 1992).

Se utilizaron tres insecticidas del grupo químico de los piretroides: lambdacialotrina, alfacipermetrina y bifentrín, donde la acción es por contacto e ingestión, actuando a nivel de sistema nervioso. Las dosis utilizadas de los insecticidas fueron: lambdacialotrina: 2000 µg/ml (T1), 80 µg/ml (T2) y 40 µg/ml (T3), alfacipermetrina: 80 µg/ml (T4) y 40 µg/ml (T5), bifentrín: 80 µg/ml (T6) y 40 µg/ml (T7). Para evaluar la eficacia de control de adultos se utilizaron individuos machos de *P. xylostella* de 2 días de edad que se obtuvieron de la cría en laboratorio. Para este primer experimento se utilizaron septos de goma de caucho como soporte para el insecticida.

Los septos de goma fueron sumergidos en las diferentes concentraciones de los insecticidas durante 10 segundos. Después de sumergirlos se los colocaba en las cajas de petri de 13,7 cm de diámetro por 2,5 cm de alto, de forma individual, e identificando las cajas con el tratamiento

al que correspondían. Dentro de la caja de petri se liberó un individuo de *P. xylostella*, el cual fue observado luego de 1, 3 y 24 horas de expuesto, para registrar mortalidad. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento, hasta llegar a un total de 21 individuos evaluados.

El mismo procedimiento fue utilizado para evaluar un soporte diferente que el ensayo anterior, en el que se utilizó un cuadrado de caucho de 2 cm de lado. Debido a los resultados obtenidos en los ensayos previamente mencionados, se seleccionó el insecticida lambdacialotrina para continuar las evaluaciones, ya que resultó ser el más efectivo para este trabajo (ver sección 3.2.1).

Se evaluaron cinco concentraciones de lambdacialotrina. Se partió de una dosis de 4000 µg/ml (2x) y las diluciones que se hicieron fueron las siguientes: 0,5x (1000 µg/ml); 0,75x (1500 µg/ml); 1x (2000 µg/ml) x; 1,5x (3000 µg/ml) y 2x (4000 µg/ml), utilizando el mismo procedimiento que en los ensayos anteriores. Debido a que no se obtuvieron los porcentajes de mortalidad esperados, se evaluaron posteriormente nuevas concentraciones: 1 % (2,5 ml), 2 % (5 ml) y 3 % (7,5 ml) en  $2,0 \times 10^5$  µg/ml.

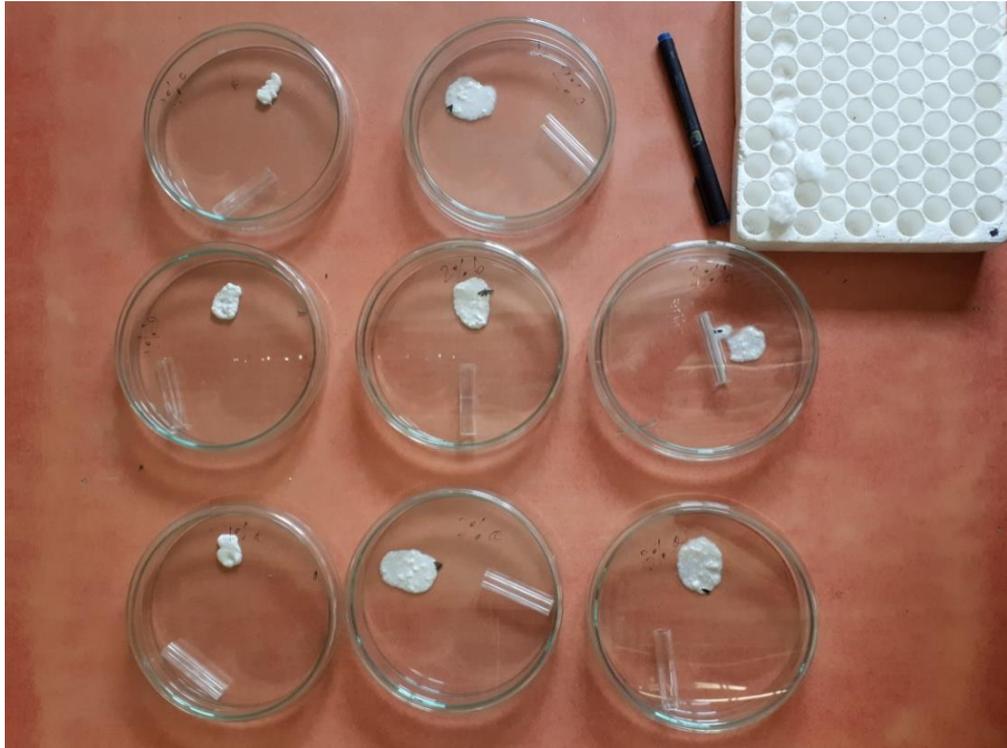
### 2.3.3 Incorporación de matriz pastosa

Una vez que se definió el insecticida y las concentraciones a utilizar, se pasó a la confección del cebo atráctico. Como primer paso se elaboró una matriz pastosa, formada por carbopolímero 0,8 g, agua destilada 40 ml, y trietanolamina 1 gota. Se seleccionó una matriz pastosa como vehículo, debido a que en ella se pueden incorporar el insecticida y la feromona sexual en simultáneo. En dicha matriz la feromona se va liberando por difusión, difunde a través del gel que la tiene incluida y se evapora a la atmósfera, estando así más disponible que en otro tipo de envases utilizados. A esa matriz se le agregó lambdacialotrina en un rango de concentraciones tomando como referencia los resultados previos 1, 2 y 3 %, porcentaje en matriz

pastosa (concentración 200 g/L) y en conjunto con la feromona a razón de 0,1 % (0,01 mg). Las combinaciones antes mencionadas determinaron que se evaluaran 7 tratamientos (T): lambda-dialotrina (1, 2 y 3 %): T1, T2, T3; lambda-dialotrina (1, 2 y 3 %) + feromona (0,1 %): T4, T5, T6 y Testigo (sólo matriz pastosa): T7.

#### 2.4 ENSAYOS DE TOXICIDAD DE CEBOS EN LABORATORIO

El diseño de este ensayo fue completamente aleatorio, con 7 tratamientos y tomando al individuo como la unidad experimental, siendo cada individuo la repetición (16 individuos) en cada tratamiento. Los ensayos de toxicidad de cebos consistieron en cajas de petri de 13,7 cm de diámetro por 2,5 cm de alto, conteniendo uno de los 7 tratamientos: lambda-dialotrina (1, 2 y 3 %): T1, T2, T3; lambda-dialotrina (1, 2 y 3 %) + feromona (0,1 %): T4, T5, T6 y Testigo (sólo matriz pastosa): T7. Dentro de esas cajas de petri con uno de los tratamientos se liberó un individuo macho adulto de *P. xylostella* de dos días de edad (Figura 6). Se evaluó la mortalidad de los individuos en 5 tiempos: 1, 3, 24, 48 y 72 horas.



**Figura 6.** Cajas de petri de 13,7 cm de diámetro, con alguno de los 7 tratamientos evaluados y un individuo macho de *P. xylostella* por caja.

#### 2.4.1 Análisis estadístico

La mortalidad se estudió mediante el ajuste de un modelo lineal generalizado de heterogeneidad de pendientes asumiendo que el número de individuos muertos en relación al total de cada tratamiento tuvo distribución binomial. Las curvas de mortalidad de los tratamientos fueron comparadas mediante contrastes simples entre los tratamientos con y sin feromona, entre los tratamientos con el testigo y entre todos con todos. Se usó el procedimiento GLIMMIX del mismo paquete estadístico SAS.

#### 2.5 ENSAYO DE CAMPO EN CULTIVO DE COLZA

El ensayo a campo se realizó en un área de 1,7 hectáreas del Potrero 36 de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (Paysandú-Uruguay) (Figura 7). El paisaje que rodeaba el potrero del ensayo estaba constituido

hacia el norte por ensayos de cultivos de cobertura, al sur por campo natural, al este por otro cultivo de colza y al oeste por un tajamar.

La siembra del cultivo de colza, variedad Rivette, se realizó el 8 de julio del año 2019 (la cual se demoró debido a condiciones meteorológicas desfavorables), a razón de 4 kg/ha de semilla y 0,17 metros de distancia entre hileras. El cultivo recibió dos aplicaciones de fertilizantes: el día 23 de julio se aplicó Superconcentrado nitrogenado (7-40/40-0+5S) a razón de 120 kg/ha y el 16 de agosto, Urea azufrada con 180 kg/ha, asegurando así la correcta nutrición del cultivo.



**Figura 7.** La línea blanca muestra el contorno del área del ensayo, ubicado en el potrero 36 de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (Paysandú-Uruguay).

#### 2.5.1 Trampas delta de monitoreo

Una vez que el cultivo de colza emergió y las plantas llegaron al estado fenológico de B4/B5 (escala CETIOM), el 21 de agosto de 2019, se instalaron

22 trampas delta de monitoreo, a una distancia de 30 metros entre ellas, asegurándonos así de cubrir el área del ensayo. De esas 22 trampas delta de monitoreo, 17 contenían dentro el septo de goma de caucho cebadas con la feromona sexual de *P. xylostella* sintetizada en laboratorio. Las 5 trampas restantes fueron colocadas como control sin tratamiento de feromonas, con septos impregnados con hexano (blancos). La instalación de las trampas delta de monitoreo consistió en la colocación de estacas de madera de 1,5 metros de largo, donde cada trampa delta de monitoreo se ajustó de manera que quedara suspendida a nivel de cultivo, utilizando un alambre para unirla a la estaca. La altura de la trampa se fue corrigiendo, acompañando el crecimiento del estrato superior del canopeo.

Las trampas delta de monitoreo de 15 x 15 x 25 cm de la marca TRECE, en su interior contaban con un piso engomado cuadriculado (el que se cambiaba si la cantidad de insectos allí pegados era mucha e impedía el conteo de los insectos de interés) y, suspendido dentro de ella, un cuadrado de cartón rígido blanco donde se insertaba el septo de goma de caucho (Figura 8). El septo tenía impregnada la feromona sexual de *P. xylostella* (0,1 mg por septo). La dosis que se utilizó es la misma que Tacain et al. (2016) para monitoreo de campo en cultivo de colza. Las trampas fueron colocadas en el ensayo a nivel del canopeo del cultivo de colza. Las trampas delta de monitoreo se utilizaron para obtener información del estado de la población de *P. xylostella* durante todo el período del cultivo en que se llevó a cabo el ensayo. Semanalmente se registraban las capturas de *P. xylostella* y de esa manera se pudo verificar el estatus de la plaga y determinar picos de vuelo.



**Figura 8.** Trampa delta de monitoreo, en el interior de observa piso engomado cuadrículado y septo de caucho donde se impregna la feromona.

### 2.5.2 Monitoreo de larvas de *P. xylostella*

Una vez establecido el cultivo en el campo, con los datos de capturas de las trampas de monitoreo, se realizó el monitoreo de larvas de *P. xylostella* en el área del ensayo. El monitoreo proporcionó los datos de presencia o no de larvas en el cultivo y la estimación de densidad de población para saber si era necesario un control. El monitoreo se realizó en dos fechas: los días 12 y 19 de setiembre del año 2019.

El monitoreo de larvas de *P. xylostella* consistió en elegir al azar 5 trampas delta de monitoreo como referencia dentro del cultivo de colza. A una distancia de 1 metro aproximadamente de las trampas delta de monitoreo se realizaban cuatro puntos de muestreo (1 metro lineal por punto), llegando así a un total de 20 puntos de muestreo. En cada uno de esos puntos de muestreo se contó la cantidad de plantas, se evaluó el porcentaje de daño de *P. xylostella* y se registró la presencia y cantidad de larvas por planta para obtener las larvas por planta en cada monitoreo y así determinar si se

alcanzaba el UDE (umbral de daño económico) establecido de 1-2 larvas/planta de estado vegetativo a floración (Western Committee on Crop Pests 2021).

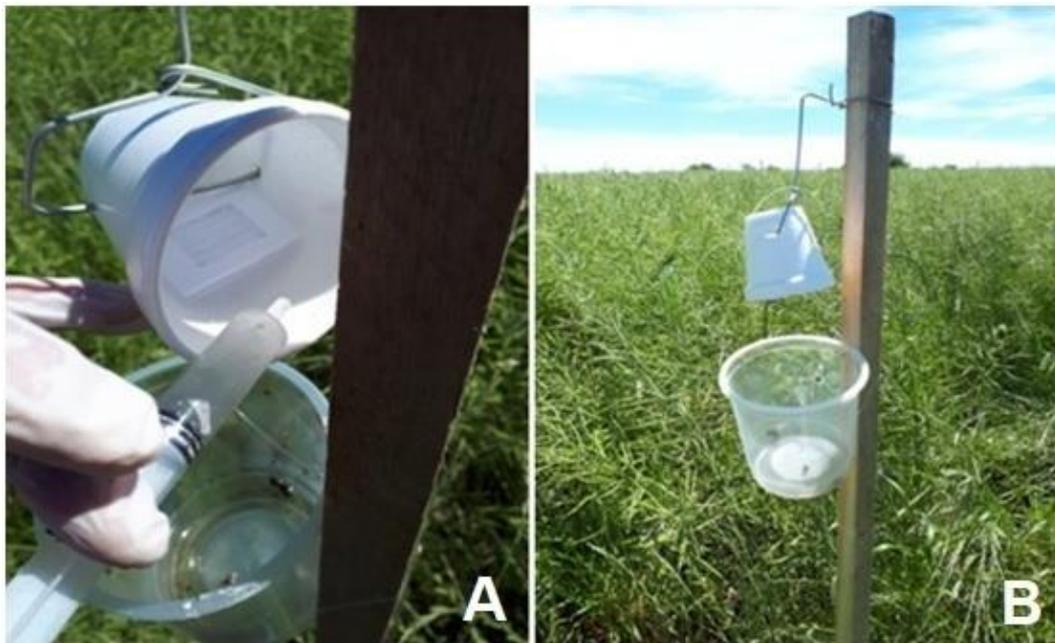
Los tratamientos propuestos inicialmente en el ensayo a campo fueron 4, pero cuando se realizó el monitoreo de larvas se encontró que la población era muy baja para realizar control químico (que era uno de los tratamientos propuestos). Es por esto que en el cultivo de colza sólo se aplicaron 3 tratamientos.

### 2.5.3 Evaluación de cebo atráctico

Para la instalación del ensayo se dividió el área de colza en ocho parcelas de 40 x 40 metros, para tener dos bloques, debido a las diferencias que presentaba el terreno, y contar al menos con dos repeticiones de cada tratamiento. La baja presión de la plaga en el campo no permitió llegar al UDE para aplicar un control químico (Tratamiento 2). Es por esto que se aplicaron los 3 tratamientos que podrían cumplir con los objetivos planteados: (1) Cebo atráctico, (2) Cebos de matriz pastosa, que sólo contienen feromona sexual de *P. xylostella* y (3) Testigo sin control. Dado que el área ya había sido dividida (8 parcelas), y con los resultados del monitoreo de larvas, se asignaron los 3 tratamientos en las parcelas. Con diseño experimental de bloques al azar se buscó la manera de que los tratamientos con feromonas no fueran contiguos y así respetar distancias recomendadas.

En cada parcela se aplicó el tratamiento que correspondía. Además, se contaba con trampas delta de monitoreo. Dentro de las parcelas donde se aplicaron los cebos se colocaron estacas de madera de 1,5 metros de altura, a una distancia del borde de 5 metros y 10 metros entre sí, ubicando un total de 16 estacas por parcela. En cada una de las estacas se ubicó el dispositivo que estaba formado por un vaso de espuma plast con un alambre dentro que sostenía un cuadrado de plástico blanco rígido (soporte) donde se colocó la

matriz pastosa. La matriz pastosa elaborada que contenía el tratamiento 1 o 2 se aplicó a razón de 1 ml por soporte utilizando una jeringa plástica de 5 ml (Figura 9). En la misma estaca, a unos centímetros debajo del dispositivo, se ubicó un recipiente de plástico transparente de 500 ml (Figura 9) sujeto a la estaca con tanza, con el fin de atrapar, si era posible, alguno de los insectos afectados por el cebo. Tanto el dispositivo que contenía la matriz pastosa en su interior como el recipiente de caída quedaron ubicados a nivel del cultivo, y eran observados semanalmente.



**Figura 9.** Aplicación de cebo de matriz pastosa con jeringa (A) y dispositivo que contenía el cebo y recipiente de caída en estaca (B).

#### 2.5.3.1 Trampas engomadas y rendimiento de colza

El 31 de octubre se instalaron trampas engomadas en las parcelas que tenían tratamientos aplicados con el fin de tener otro método de estimación de presencia de adultos de *P. xylostella* (de ambos sexos). Se colocaron 8 trampas engomadas distribuidas por toda la parcela al azar. Consistían en un dispositivo plástico en cuyo interior se ubicaba la trampa engomada de 13 cm

de largo y 6 cm de ancho. Se las colocó directamente sobre un par de plantas de colza, sujetas por el extremo del dispositivo a las silicuas con un alambre (Figura 10).



**Figura 10.** Trampa engomada dentro de dispositivo plástico sujeta a silicuas de plantas de colza.

Se realizaron dos lecturas de estas trampas engomadas: el 8 de noviembre, con la última lectura de trampas delta de monitoreo, y el 18 de noviembre.

Al terminar el ciclo del cultivo y una vez que se retiraron las estacas de los tratamientos, se cosecharon a mano en cada parcela 4 metros lineales de plantas. Se colocaron las plantas cosechadas por parcelas en la misma bolsa

para, una vez en laboratorio, procesar las muestras y extraer las semillas para, de esa manera, estimar el rendimiento obtenido por parcela y observar si encontrábamos diferencias entre los tratamientos aplicados.

#### 2.5.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico de las capturas en trampas de monitoreo de *P. xylostella* en campo se efectuó ajustando modelos lineales generalizados mixtos asumiendo que el número de individuos capturados por trampa tiene distribución de Poisson. Se usó el procedimiento GLIMMIX ya mencionado. La comparación de medias se hizo mediante la prueba Tukey con un nivel de significatividad del 5 %. Además, para el análisis de las capturas de *P. xylostella* se ajustaron curvas acumulativas en el tiempo de capturas según un modelo de Mitscherlich. Se usó el procedimiento NLMIXED. Se asumió que el número de individuos capturados tuvo distribución de Poisson. El modelo básico para cada zona de campo fue  $Y = A (1 - \exp(-kt)) + \varepsilon$ . Luego las zonas de campo (alto y bajo) se compararon estadísticamente a través de la comparación de los parámetros A y k. Dicha comparación se hizo mediante pruebas t a partir de las estimaciones y los errores estándar.

El efecto de los tratamientos sobre el rendimiento se efectuó ajustando un modelo lineal general asumiendo que el rendimiento tiene distribución normal o gaussiana. Se usó el procedimiento GLIMMIX. La comparación de las medias de los tratamientos se hizo a través de Tukey (significatividad del 5 %).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 ENSAYO DE EVALUACIÓN DE ALIMENTOS EN EL DESARROLLO, SUPERVIVENCIA, PARÁMETROS REPRODUCTIVOS Y DEMOGRÁFICOS DE *PLUTELLA XYLOSTELLA*

##### 3.1.1 Desarrollo

El método de cría desde el estado de larva 1 hasta adulto de individuos de *P. xylostella* permitió superar la etapa de inmaduros en los cinco alimentos evaluados. *P. xylostella* logró completar su desarrollo con los diferentes alimentos y alcanzar el estado de adulto reproductivo. Sin embargo, existieron diferencias entre los distintos alimentos (Tabla 1) y se llegó a determinar cuál es el hospedero más idóneo para completar el desarrollo en condiciones de laboratorio.

**Tabla 1.** Tiempo medio de desarrollo y longevidad del adulto (días  $\pm$  EE) de *Plutella xylostella* para los cinco alimentos evaluados.

Estados de desarrollo	Alimento				
	Colza	Carinata	Mostacilla	Rábano	Repollo
Larva 1	3,07 $\pm$ 0,24ab	2,69 $\pm$ 0,21b	3,20 $\pm$ 0,20ab	3,11 $\pm$ 0,24ab	3,7 $\pm$ 0,27a
Larva 2	2,69 $\pm$ 0,19ab	2,57 $\pm$ 0,18ab	2,1 $\pm$ 0,12b	2,25 $\pm$ 0,16ab	2,73 $\pm$ 0,18a
Larva 3	2,38 $\pm$ 0,17ab	2,53 $\pm$ 0,18ab	1,8 $\pm$ 0,10c	2,03 $\pm$ 0,14bc	2,7 $\pm$ 0,18a
Larva 4	1,26 $\pm$ 0,10d	2,36 $\pm$ 0,19b	1,87 $\pm$ 0,12bc	1,62 $\pm$ 0,12cd	3,70 $\pm$ 0,27a
Prepupa	1,34 $\pm$ 0,10c	1,92 $\pm$ 0,15ab	1,55 $\pm$ 0,10bc	1,51 $\pm$ 0,11bc	2,2 $\pm$ 0,16a
Pupa	5,00 $\pm$ 0,27ab	4,34 $\pm$ 0,23ab	5,00 $\pm$ 0,22a	4,88 $\pm$ 0,26ab	4,10 $\pm$ 0,20b
Larva1_Pupa	15,66 $\pm$ 0,34b	16,42 $\pm$ 0,40b	15,57 $\pm$ 0,30b	15,44 $\pm$ 0,37b	19,19 $\pm$ 0,43a
Adulto	18,76 $\pm$ 1,96a	22,73 $\pm$ 2,38a	20,32 $\pm$ 1,71a	19,00 $\pm$ 1,95a	20,13 $\pm$ 1,96a

Medias con una letra común en las filas no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ; Tukey).

De acuerdo al estado de desarrollo en días, se observaron diferencias significativas en la duración, entre los diferentes alimentos evaluados ( $p <$

0,05). En los estadios de larva 3 y 4 y en el estado de prepupa fue donde se encontraron las mayores diferencias entre los alimentos evaluados. Para el estadio de larva 3 la menor duración se dio en mostacilla (1,8 días) frente a repollo (2,7 días), mientras que en larva 4 y prepupa el tiempo de desarrollo más corto se registró en colza (1,26 y 1,34, respectivamente) frente a repollo (3,7 y 2,2, respectivamente). Para el resto de los estados de desarrollo los valores mínimos en días de desarrollo se encontraron en colza y mostacilla, dependiendo del estado y estadios de desarrollo, mientras que los valores máximos fueron en repollo. Cuando se analizaron juntos el estado de larva y pupa se observó que el repollo es el único que presenta diferencias significativas con respecto a los otros hospederos. Durante el estado adulto no se observaron diferencias significativas entre los diferentes alimentos evaluados.

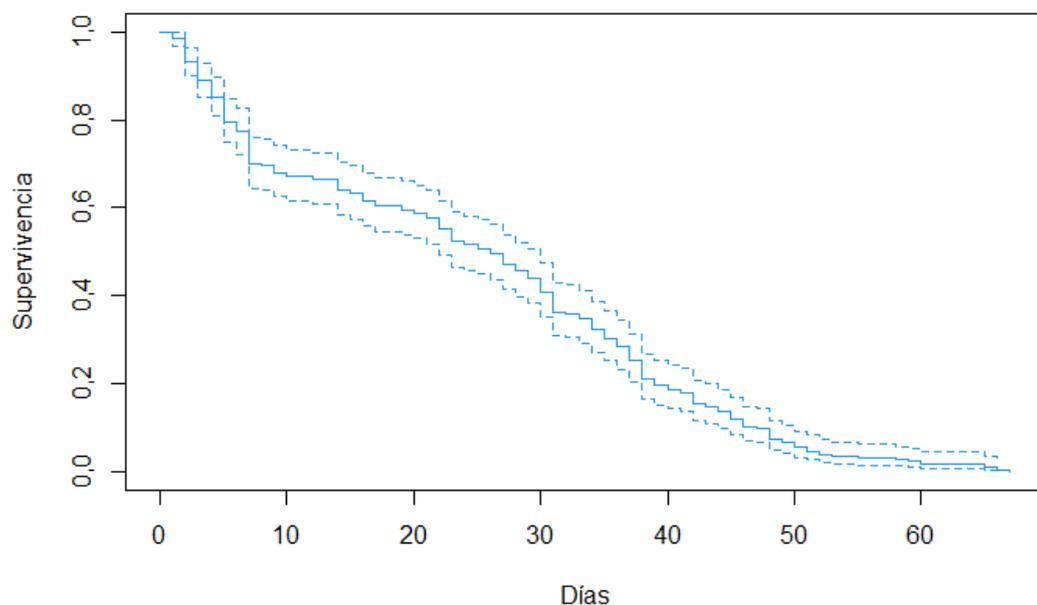
En trabajos realizados por varios autores (Ramzan et al., 2021, Saeed et al., 2010, Golizadeh et al., 2009, Syed y Abro, 2003), donde evalúan el desarrollo en diferentes especies de la familia Brassicaceae sobre el desarrollo de *P. xylostella*, también encontraron diferencias significativas. Syed y Abro (2003) adjudicaron que las diferencias encontradas entre alimentos se deberían a la proporción de factores nutricionales y fagoestimulantes en estos.

En estudios bajo condiciones similares, el desarrollo de individuos en repollo fue similar al de colza (Ramzan et al., 2021, Golizadeh et al., 2009) e incluso el desarrollo se da en menor tiempo (Syed y Abro, 2003). Una de las explicaciones de las diferencias en la duración del desarrollo en repollo, se podría atribuir a que fue el único hospedero donde no se suministraron hojas frescas directo de la planta. Dado que las plantas varían su calidad nutricional a causa de factores ambientales externos y del repollo se desconocían las características ambientales, las cuales fueron diferentes al de las especies obtenidas en el campo (Ahuja et al., 2011, Awmack y Leather, 2002) y eso afecta el desarrollo y reproducción de los insectos (De Bruyn et al., 2002,

Björkman, 2000). También, al comparar los resultados con trabajos de otros lugares del mundo, es probable que tanto los hospederos como *P. xylostella* tengan características genéticas diferentes y de ahí las diferencias encontradas con respecto al tiempo de desarrollo (Gautam et al., 2018, Shirai, 2000).

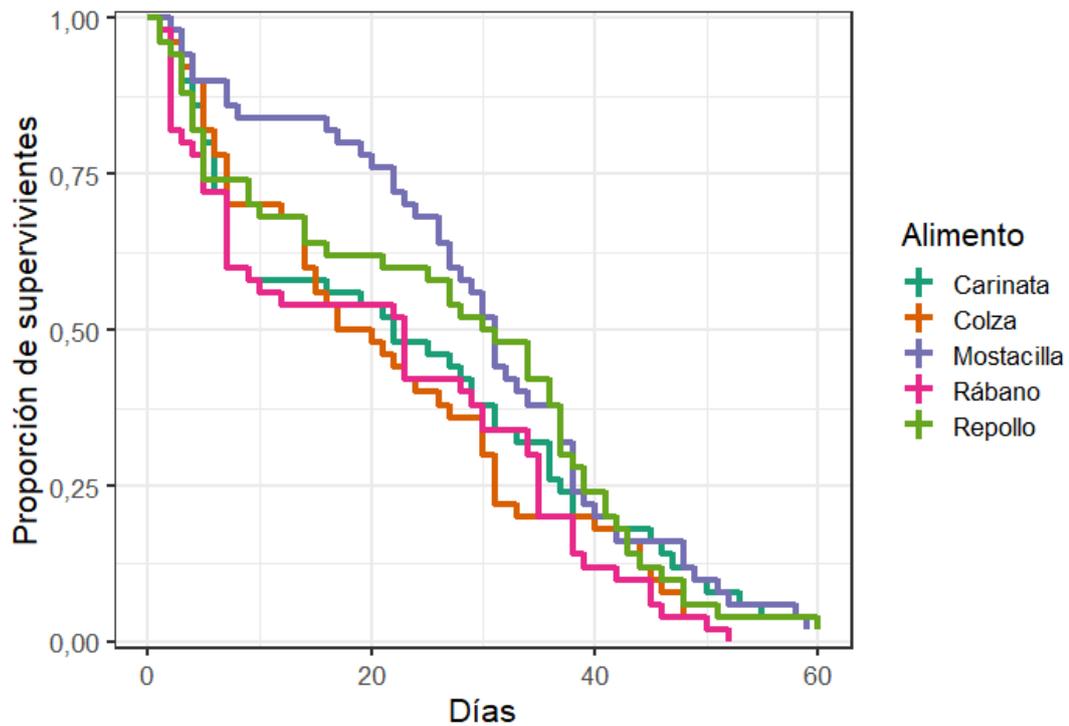
### 3.1.2 Supervivencia

Los resultados mostraron cómo todos los individuos estaban muertos después de los 67 días. En la Figura 11 se observa la curva global de supervivencia de todos los individuos con los intervalos de confianza. La curva global de supervivencia mostró cómo en los primeros días de evaluación desde larva 1 se registraron individuos muertos.



**Figura 11.** Supervivencia de individuos en función del tiempo en días que vivieron.

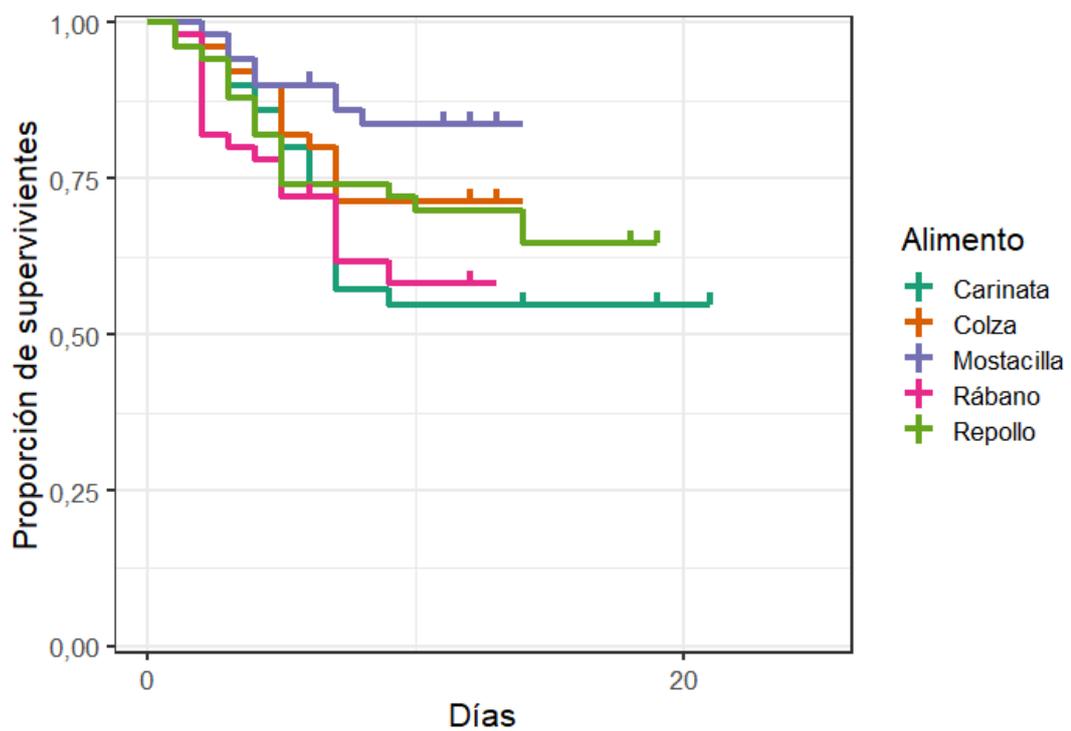
Una vez observada la curva global de supervivencia, en la figura 12 se graficó la proporción de supervivientes de individuos según el alimento evaluado.



**Figura 12.** Proporción de supervivientes en función del tiempo en días, para cada uno de los alimentos evaluados.

En la figura se observa cómo la mostacilla registró menos individuos muertos entre los 10 y 20 días, teniendo en cuenta la mediana de la edad de muerte de individuos por alimento, la menor fue de 18 días en colza frente a 31 días en mostacilla. De acuerdo a los intervalos de confianza de los alimentos, no se registraron diferencias significativas entre ellos. Si bien no se detectaron diferencias entre los alimentos, sí se detectaron interacciones significativas entre el estadio de desarrollo y los alimentos. De acuerdo a la interacción, se detectaron interacciones entre el rábano y los estadios de desarrollo ( $p = 0,0291$ ), y entre los estadios de desarrollo.

Para observar en mayor detalle esa diferencia entre alimentos según el estadio de desarrollo se pueden observar las figuras 13 y 14. En la figura 13 se graficó la proporción de supervivientes para el estado de larva y en la figura 14, para el estado adulto, para así observar qué ocurre en el período de alimentación de los individuos, y en el estado adulto para conocer cuántos de esos individuos logran completar el desarrollo y pasar a la etapa reproductiva.

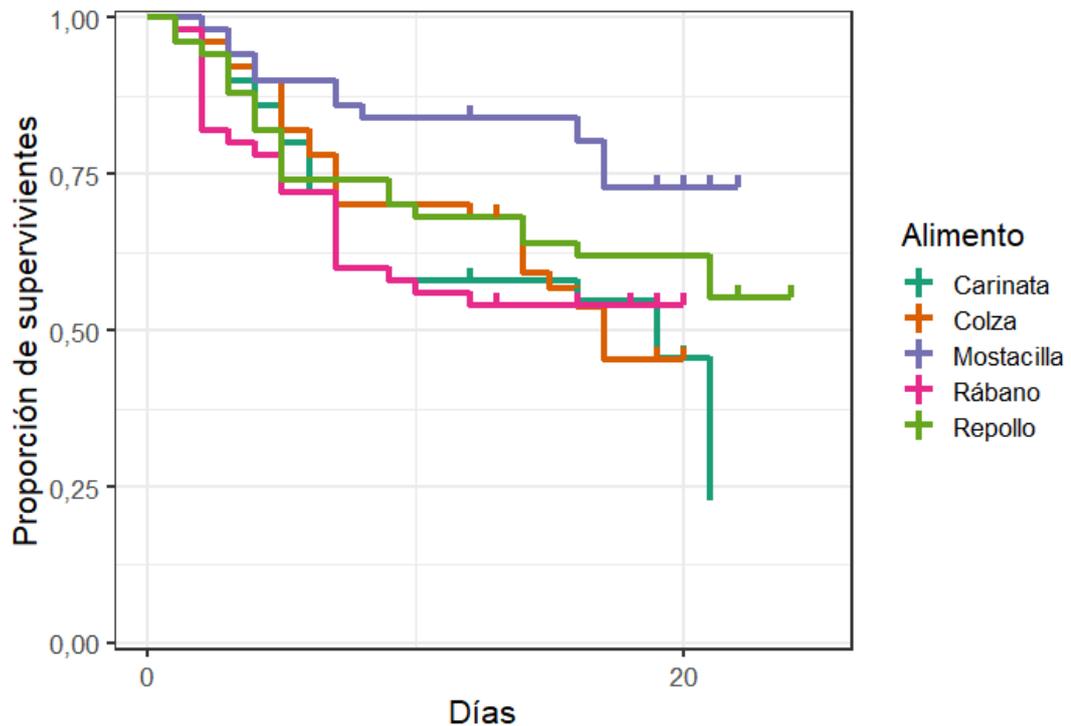


**Figura 13.** Proporción de supervivientes en función del tiempo en días, según el alimento evaluado, para el estado larval.

En dicha gráfica se pudo observar que las curvas de supervivencia son diferentes, pero que, en particular, la mostacilla, fue el alimento que se diferenció significativamente del resto de los alimentos ( $p = 0,023$ ). En este tipo de gráfico se muestran los individuos censurados, es decir, esos individuos que no murieron en el estadio evaluado (larva), donde aparecieron como marcas en la curva de cada alimento. De los individuos no censurados,

los muertos, la media de la edad de muerte fue de 5,36, 4,78, 4,75, 4,15 y 4,87 para carinata, colza, mostacilla, rábano y repollo, respectivamente.

Marchioro y Foerster (2014), en su trabajo, también encontraron diferencias entre plantas cultivadas y silvestres como alimento de larvas, en cuanto a la supervivencia de individuos, reportando que en las plantas silvestres tuvieron mejores resultados que las cultivadas. Considerando, además, que, como menciona Sarfraz et al. (2006), la calidad nutricional y los rasgos morfológicos de las plantas pueden afectar el desarrollo y la supervivencia de *P. xylostella*. Es por esto que Eigenbrode et al. (1990) mencionan que para las larvas de *P. xylostella* el tipo y la cantidad de ceras epicuticulares son importantes, dado que observaron que las larvas pasaban mucho tiempo buscando y moviéndose. Dicho comportamiento se tradujo en menor supervivencia de larvas en el trabajo de Marchioro y Foerster (2014), así como pudo haber ocurrido en nuestro trabajo, ya que existían diferencias en la morfología de las diferentes especies. Además, Holloway et al. (1977), en su estudio de ceras en especies de colza, encontraron diferencias, así como también de otras especies de la familia Brassicaceae, lo cual puede ser parte de la explicación de los resultados obtenidos.



**Figura 14.** Proporción de supervivientes en función del tiempo en días, según el alimento evaluado, hasta el estado adulto.

Al igual que para el estado de larva, la mostacilla fue el alimento que se diferenció significativamente del resto de los alimentos en la proporción de supervivencia ( $p = 0,0075$ ). El alimento que registró la mayor supervivencia hasta el estado adulto fue mostacilla, con 40 individuos vivos, y le siguió el repollo con 30 individuos, mientras que en el resto de los alimentos alcanzaron el estado adulto 26, 26 y 27 individuos, en colza, carinata y rábano, respectivamente.

Idris y Grafius (1996) evalúan la supervivencia de adultos de *P. xylostella* entre plantas cultivadas y silvestres, encontrando diferencias entre ellas; para el caso del rábano es donde encontraron la menor supervivencia respecto de colza y repollo. En cambio, para Kahuthia-Gathu et al. (2008) no hay diferencias en la supervivencia de adultos en especies cultivadas y silvestres. La diferencia entre alimento, puede estar dada por la presencia de sustancias

tóxicas, la falta de estimulantes para la alimentación e inclusive características morfológicas de las plantas (Hough-Goldstein y Hahn, 1992, Gupta y Thorsteinson, 1960).

En la Tabla 2 se presentan los datos de supervivencia expresada en porcentaje (%) de los individuos vivos al final de cada estado de desarrollo según el alimento evaluado.

**Tabla 2.** Supervivencia (%) en los diferentes estados y estadios de desarrollo de *Plutella xylostella* en los cinco alimentos.

Estado de desarrollo	Alimento				
	Colza	Carinata	Mostacilla	Rábano	Repollo
L1* - L2	84	78	90	72	80
L2 - L3	78	64	86	72	72
L3 - L4	72	56	84	60	68
L4 - Prepupa	70	54	84	58	66
Prepupa - Pupa	66	54	84	54	62
Pupa - Adulto	52	52	80	54	60

\*L: estadio de la larva.

En el pasaje de larva 1 a 2 se dio la mayor mortalidad de los individuos por alimento. La mayor pérdida de individuos se registró en rábano, pasando del 100 % de larvas vivas en L1 a 72 %, y el valor mínimo fue en mostacilla donde supervivió el 90 %. Para el caso de carinata, entre los estadios de larva 2 a 3 se dio una caída de 14 %. En rábano de larva 3 a 4 el porcentaje de mortalidad fue de 12 % y el hospedero que registró más muertes del estado de pupa a adulto fue colza (14 %). Por otro lado, el alimento en el que se registraron menos muertes hasta el estado adulto fue mostacilla (80 %). Para el resto de los hospederos la supervivencia hasta el estado adulto estuvo entre 52 y 60 %.

Para el caso de la baja supervivencia en los primeros estadios larvales, también fue registrada por Golizadeh et al. (2009) cuando el alimento era colza. Algunos autores encontraron que cuando las plantas de la familia

Brassicaceae sufren daños, la concentración de varios glucosinolatos aumentan en las plantas (Verkerk et al., 1997, Koritsas et al., 1991), dado que al momento de la alimentación de los insectos se desatan una serie de procesos dentro de la planta, entre ellos los de defensa, y los glucosinolatos son los que median ese proceso (Zukalová y Vašák, 2002). Teixeira et al. (2013) en su trabajo apoyan la idea de que cultivos anuales o de vida corta, como es el caso de los utilizados en este trabajo, al ser encontrados en el campo en diferentes momentos del año, tienen diferentes atributos nutricionales y defensivos. Dicho proceso defensivo no fue posible de cuantificar en este trabajo, debido a que el alimento brindado correspondió a un trozo de planta y de esta manera no pueden desatarse las defensas inducidas.

### 3.1.3 Parámetros reproductivos y demográficos

Como se mostró en el punto anterior, hay diferencias entre alimentos en la supervivencia de individuos. Si bien en mostacilla fue donde se obtuvieron más individuos adultos, en repollo fue donde se formaron más parejas, dada la proporción de machos y hembras que emergieron. La diferencia en proporción de sexos fue observada en trabajos con otras especies de insectos y está relacionada con la calidad del alimento (Awmack y Leather, 2002). En la Tabla 3 se muestra la cantidad de hembras que llegaron al estado adulto y fueron puestas en pareja con machos alimentados con la misma especie vegetal.

**Tabla 3.** Cantidad de hembras, huevos ovipositados y fecundidad (media  $\pm$  EE), y longevidad de hembras (días  $\pm$  EE) para los cinco alimentos evaluados.

	Alimento				
	Colza	Carinata	Mostacilla	Rábano	Repollo
n	11	9	11	7	14
Ovipositados	219,82 $\pm$ 24ab	222,11 $\pm$ 27ab	300,82 $\pm$ 24a	217,29 $\pm$ 31ab	143,93 $\pm$ 22b
Fecundidad	148,09 $\pm$ 18a	135,78 $\pm$ 20ab	212,36 $\pm$ 18a	171 $\pm$ 22a	68,15 $\pm$ 16b
Long. hembras	16 $\pm$ 2,32a	19 $\pm$ 2,56a	17,3 $\pm$ 2,32a	13,3 $\pm$ 2,9a	17,57 $\pm$ 2,05a

Medias con una letra común en las filas no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ; Tukey).

En cuanto a huevos ovipositados, el valor más alto se obtuvo en mostacilla (300,82) y el más bajo, en repollo (143,93). Para la fecundidad se obtuvieron los valores más altos para mostacilla (212,36), rábano (171) y colza (148,09), y el menor valor, para repollo (68,15), siendo estadísticamente diferentes.

Al encontrar diferencias entre los alimentos podemos indicar que estos afectan la oviposición de *P. xylostella*; los componentes defensivos de las plantas podrían estar implicados en dicha respuesta (Awmack y Leather, 2002). Además, los insectos son capaces de detectar cuándo su hospedero (alimento) es de mala calidad y así modificar su oviposición (Leather y Burnand, 1987). En el trabajo realizado por Kahuthia-Gathu et al. (2008) señalan que en plantas silvestres las hembras eran más fecundas. Dicho comportamiento es similar a las especies silvestres estudiadas en este trabajo (mostacilla y rábano).

La baja cantidad de huevos ovipositados por las hembras de *P. xylostella* con el repollo como alimento se podría comparar con los resultados que obtienen Teixeira et al. (2013). En dicho trabajo evaluaron la calidad del repollo como alimento y encontraron que durante el verano las plantas de repollo tienen menos contenido de lípidos, comparado con otras especies de

la región. Por otro lado, Behmer y Grebenok (1998) comprueban que los fitoesteroles aumentan la supervivencia y reproducción de *P. xylostella* y que, justamente, el bajo contenido de esos compuestos en las plantas en el verano podría comprometer el desempeño de la plaga. Además, observaron que con una dieta artificial, donde se eliminan esteroides, se afectaron negativamente los parámetros reproductivos de *P. xylostella*, así como el peso de la pupa y la duración del ciclo.

Por otro lado, la longevidad de hembras fue en la única variable en la que no se registraron diferencias estadísticas entre los diferentes hospederos. Sin embargo, cuando se observaron las medias de cada alimento se pudo ver cómo entre rábano (13,3 días) y carinata (19 días) hubo una diferencia de 5,7 días. Esa diferencia no se vio reflejada en el análisis estadístico dada la variabilidad interna entre los valores obtenidos.

**Tabla 4.** Parámetros demográficos y reproductivos de la población de *Plutella xylostella* para los cinco alimentos evaluados.

Parámetros demográficos	Alimento				
	Colza	Carinata	Mostacilla	Rábano	Repollo
$R_o$	48,36	39,3	66,18	30,42	40,3
T (días)	22,311	24,572	22,442	20,044	27,182
$r_m$	0,174	0,149	0,187	0,170	0,136
$\lambda$	1,190	1,161	1,205	1,186	1,146
DT	3,987	4,639	3,711	4,068	5,097

A modo de resumen de la evaluación de estos alimentos para el desarrollo de *P. xylostella* se obtuvo la Tabla 4. En ella se puede ver que la especie vegetal en la que se obtuvo la mayor tasa de reproducción neta ( $R_o$ ) fue mostacilla (66,18). Lo mismo ocurrió con la tasa intrínseca de incremento ( $r_m$ ) con un valor de 0,187. Syed y Abro (2003) encontraron que los valores más altos de  $R_o$  y  $r_m$  se registraron en repollo; pero en este caso los mayores valores se obtuvieron con mostacilla. Sin embargo, cuando Wakisaka et al.

(1992) compararon especies cultivadas y silvestres, los valores de  $r_m$  oscilaron en 0,2778 y 0,1362, respectivamente. Estos valores de  $r_m$  indican que existieron variaciones locales de diferente magnitud en los ensayos que se han realizado hasta el momento. Los valores obtenidos en plantas cultivadas fueron más bajos que en otros estudios previos, pero resultaron similares o superiores en las especies silvestres.

Con respecto al tiempo generacional o tiempo que demoran en completar una generación (T), los valores más bajos se registraron en rábano (20,044), mientras que entre mostacilla y colza la diferencia fue sólo de 2 días (22,442 y 22,311, respectivamente). Cuanto menor fue el tiempo, más generaciones se pudieron desarrollar en el período del cultivo, sin dejar de tener en cuenta que estos son datos de laboratorio, donde se tienen condiciones controladas. Esto lleva a que si se pensara en un cultivo a campo, en el caso de colza (ciclo de 150 días aproximadamente), *P. xylostella* podría desarrollar hasta 6,7 generaciones en ese cultivo. En otras regiones del mundo, estos valores son muy variables, dependiendo más que nada de la temperatura. En Ontario esta plaga presenta entre 4 a 5 generaciones al año (Harcourt, 1986) y en Pakistán, donde la estación de crecimiento del cultivo es más larga, de 12 a 14 generaciones (Saeed et al., 2010).

Para la tasa finita de crecimiento ( $\lambda$ ), que es el factor que nos mostrará como la población aumenta en cierto período de tiempo, no se encontraron grandes diferencias entre hospederos. Por último, al observar la tasa de duplicación (DT), los valores extremos fueron repollo (5,097) y mostacilla (3,711). Es decir, la mostacilla logró duplicar su población en casi la mitad del tiempo que el repollo. En el trabajo de Kahuthia-Gathu et al. (2008) encontraron que los valores de los parámetros demográficos en especies silvestres eran significativamente mejores que en las especies cultivadas. Estos autores asociaron dicho comportamiento a la coevolución de *P. xylostella* con estas especies. Cuando en laboratorio se obtienen buenos resultados, es de esperar que en el campo ocurra lo mismo, dado que estos

hospederos alternativos (especies silvestres) proveen refugio y recursos para el desarrollo mientras no está la especie cultivada.

Portilla et al. (2014) mencionan que para varios autores la  $r_m$ , es el parámetro demográfico más importante y para Roff (1993) es considerada una medida de aptitud de una población. Golizadeh et al. (2009) encontraron en su trabajo que los mayores valores los tenían coliflor y repollo, por lo tanto, los consideraron los alimentos más apropiados. En este trabajo el mayor valor lo tuvo la mostacilla. Los mismos autores mencionan que el hospedero de menor  $r_m$  fue la colza, mientras que en nuestro caso ese valor lo tiene el repollo. Ellos concluyen que se debe a la resistencia por antibiosis contra *P. xylostella*, al tener el mayor tiempo de desarrollo, baja supervivencia y el valor más bajo de  $r_m$ , lo cual coincide con lo que se obtuvo en nuestro trabajo en repollo.

De la cría en laboratorio se obtuvieron los individuos machos de corta edad para los ensayos de toxicidad que se presentan a continuación.

## 3.2 ENSAYOS PRELIMINARES DE TOXICIDAD

### 3.2.1 Selección de insecticida y evaluación de soporte para cebo

Una vez establecidas las condiciones de cría de *P. xylostella*, se confeccionaron cebos para, en una primera instancia, evaluar su toxicidad. En un principio se evaluó como soporte un septo de caucho y, luego, un cuadrado de caucho, con distintos insecticidas de contacto.

Inicialmente se utilizaron septos de caucho como soporte, los cuales eran sumergidos en las diferentes concentraciones de insecticida, ambdacialotrina: 2000  $\mu\text{g/ml}$  (T1), 80  $\mu\text{g/ml}$  (T2) y 40  $\mu\text{g/ml}$  (T3), alfacipermetrina: 80  $\mu\text{g/ml}$  (T4) y 40  $\mu\text{g/ml}$  (T5), bifentrín: 80  $\mu\text{g/ml}$  (T6) y 40  $\mu\text{g/ml}$  (T7) durante 10 segundos. No se registró la muerte de individuos; por el contrario, se observó que los individuos no se acercaban al septo, y eso es fundamental, dado que el insecticida actúa por contacto. Como no se

registraron muertes con el septo como soporte, se cambió el soporte a un cuadrado de caucho de 2 centímetros de lado. Se realizó el ensayo con los mismos tratamientos antes mencionados, aplicando cada tratamiento a 3 individuos (ubicando un insecto por caja de petri), para llegar a un total de 21 individuos evaluados. Los resultados que se obtienen con el cuadrado de caucho como soporte se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Resumen de individuos muertos y vivos de *Plutella xylostella*, según tiempo de exposición e insecticidas evaluados con soporte de caucho.

Tratamiento	Cantidad de individuos	Tiempo (horas)		
		1	3	24
Lambdacialotrina 2000 µg/ml	3	Vivos	Vivos	Muertos (3)
Lambdacialotrina 40 µg/ml	3	Vivos	Vivos	Vivos
Lambdacialotrina 80 µg/ml	3	Vivos	Vivos	Vivos
Alfacipermetrina 40 µg/ml	3	Vivos	Vivos	Vivos
Alfacipermetrina 80 µg/ml	3	Vivos	Vivos	Vivos
Bifentrín 40 µg/ml	3	Vivos	Vivos	Vivos
Bifentrín 80 µg/ml	3	Vivos	Vivos	Vivos

Como se muestra en la Tabla 5, no se registraron muertes en los tratamientos con alfacipermetrina y bifentrín. Únicamente se logró mortalidad de insectos a las 24 horas de exposición en uno de los tratamientos con lambdacialotrina. Con esos resultados se podría pensar en cierta repelencia de parte de los insectos, dado que hay registro de que para algunas especies estos insecticidas tienen un efecto repelente (Rieth y Levin, 1988, Ruscoe, 1977). El insecticida lambdacialotrina fue el único que sí registró muertes, en la mayor dosis evaluada, pero que no se evaluó en los otros dos insecticidas. Estos resultados coinciden con los reportados por De Souza et al. (1992), quienes en su trabajo utilizaron lambdacialotrina para la confección de cebos atracticidas en el control de *Spodoptera littoralis*.

Con base en los resultados obtenidos previamente, lambdacialotrina fue el insecticida seleccionado para probar cinco nuevas concentraciones. Se partió de una dosis de 4000 µg/ml (2x) y las diluciones que se hicieron fueron las siguientes: 0,5x (1000 µg/ml); 0,75x (1500 µg/ml); 1x (2000 µg/ml) x; 1,5x (3000 µg/ml) y 2x (4000 µg/ml). En este ensayo no se obtuvieron las mortalidades esperadas, por lo tanto, surgió la necesidad de ajustar nuevamente las concentraciones. Se cambió la concentración de insecticida, definiendo la utilización de 3 diluciones: 1 % (2,5 ml), 2 % (5 ml) y 3 % (7,5 ml) en  $2,0 \times 10^5$  µg/ml. Los resultados del ensayo con estas diluciones se encuentran en la sección 3.3. El uso de concentraciones similares e insecticidas de la familia de los piretroides son reportados en la revisión realizada por El-Sayed et al. (2009) con el fin de confeccionar cebos atrácticos para diferentes insectos plaga.

### 3.2.2 Incorporación de matriz pastosa

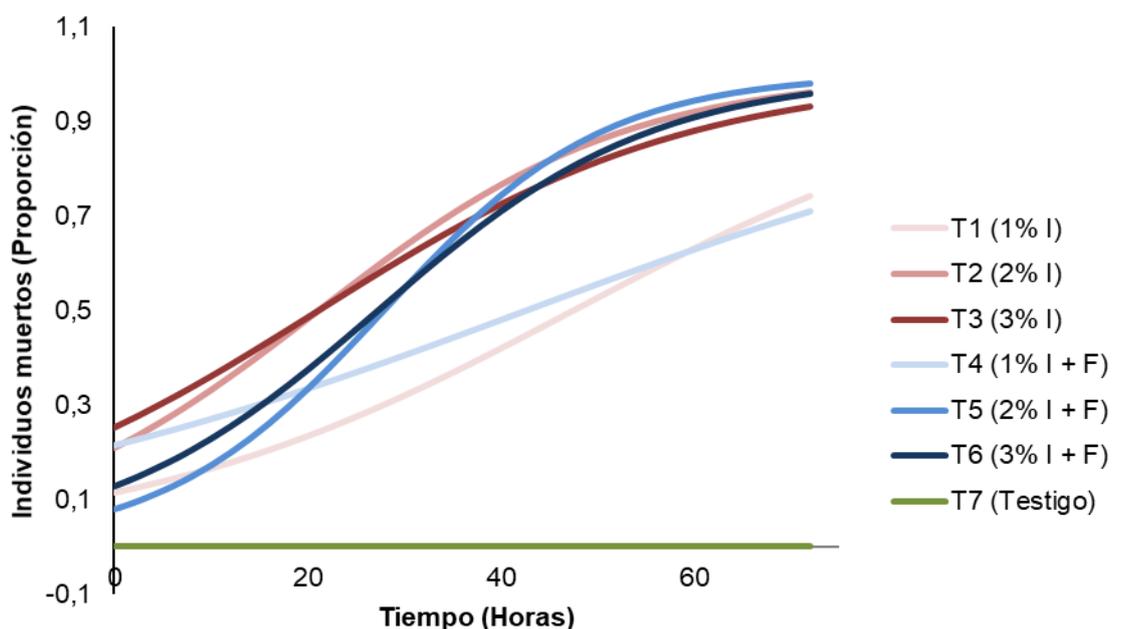
Se logró que la matriz pastosa obtenga una consistencia que permitió la incorporación del insecticida y la feromona sexual de *P. xylostella* y permitió no utilizar un soporte para el cebo en laboratorio. El uso de una matriz en la cual incorporar el insecticida y la feromona es reportado en el trabajo de Maxwell et al. (2006) en formulaciones comerciales. Además, se consiguió que el insecticida mantenga su poder letal cuando el insecto se pone en contacto con el cebo. Si bien el poder de atracción de la feromona quizás se vio afectado por el área de la caja de petri, dicha conclusión no se pudo obtener con este tipo de ensayo. Mitchell (2002) en su trabajo observó un breve vuelo de *P. xylostella* hacia donde estaba el cebo, pero el recipiente en que se encontraba tenía el doble del volumen que el utilizado en nuestro caso.

El contar con la información del insecticida a utilizar, en sus diferentes concentraciones e incorporación de la matriz pastosa como vehículo, permitió evaluar en el siguiente ensayo la mortalidad de individuos expuestos sólo a insecticida y la combinación con la feromona sexual (cebo atráctico).

### 3.3 EVALUACIÓN DE TOXICIDAD DE CEBOS EN LABORATORIO

Al contar con la confección de los cebos atracticidas compuestos por la feromona sexual de *P. xylostella* al 0.1 % y lambdacialotrina en distintas concentraciones, dispersos en la matriz pastosa de carbopolimero, se procedió a realizar ensayos de toxicidad con ella. Se evaluaron los cebos atracticidas y cebos conteniendo únicamente insecticida.

En este ensayo se evaluaron 7 tratamientos: T1, T2, T3 (lambdacialotrina: 1, 2 y 3 %); T4, T5, T6 (lambdacialotrina: 1, 2 y 3 %) + (feromona 0.1 %) y T7 (testigo, sólo matriz pastosa). Se realizaron 16 repeticiones por tratamiento, hasta un total de 112 individuos evaluados. Los resultados de mortalidad de los individuos en laboratorio bajo los diferentes tratamientos aplicados se muestran en la Figura 15.



**Figura 15.** Curvas de mortalidad acumulada de *Plutella xylostella* en función del tiempo en horas de los siete tratamientos evaluados.

La mayor proporción de individuos muertos se obtuvo en los tratamientos con 2 % y 3 % de insecticida lambdacialotrina, con y sin feromona. Los tratamientos 1 y 4, los cuales tienen 1 % de insecticida, se comportaron de manera similar entre ellos, sin poder alcanzar los valores de los otros tratamientos. En cuanto a los demás tratamientos, en un principio los tratamientos con feromona (T5 y T6) se encontraron por debajo en las primeras horas de exposición, luego se igualaron a los sin feromona (T2 y T3) e incluso los superaron. Pero en el caso del T5 se llegó a un 100 % de mortalidad de los individuos evaluados a las 72 horas. El T2 tiene una tasa de mortalidad de 0,06275, mientras que en el T5 es de 0,08762.

El hecho de que la evaluación se hiciera por 72 horas permitió observar si había efectos de falso positivo en el registro de letalidad con las dosis utilizadas. Se ha registrado, en otros trabajos, que hay insectos que logran recuperarse a los 2 y 4 días después de tener contacto con el insecticida del grupo de los piretroides (Haynes et al., 1986, Haynes y Baker, 1985). En nuestro caso no ocurrió ningún efecto de recuperación luego de iniciado el proceso de intoxicación del insecto. Estos cebos fueron posteriormente evaluados a campo.

Al analizar las curvas de mortalidad de *P. xylostella* para los distintos tratamientos se pudo observar que hay diferencias entre los tratamientos en lo que refiere a la tasa de mortalidad de individuos. Al T7 se lo observó siempre en valores de cero, dado que en este sólo se evaluó si algún componente de la matriz pastosa podía causar la muerte de los insectos, pero eso no sucedió. La muerte de los individuos se debe a la acción del insecticida. Estos datos se encuentran en la Tabla 6, en la cual se ordenaron los tratamientos de manera decreciente, según el valor de la pendiente.

**Tabla 6.** Tratamientos ordenados de forma decreciente de acuerdo al valor de la pendiente y comparación entre ellos a través de contrastes simples.

	<b>Pendiente</b>	<b>Contrastes simples*</b>
T5 (2 % I + F)	0,08762	A
T6 (3 % I + F)	0,07052	AB
T2 (2% I)	0,06275	AB
T3 (3 % I)	0,05139	ABC
T1 (1 % I)	0,04308	BC
T4 (1 % I + F)	0,0304	C
T7 (Testigo)	-6,9E-10	No comparable

\*Letras iguales indican que los tratamientos no son significativamente diferentes (contrastos simples).

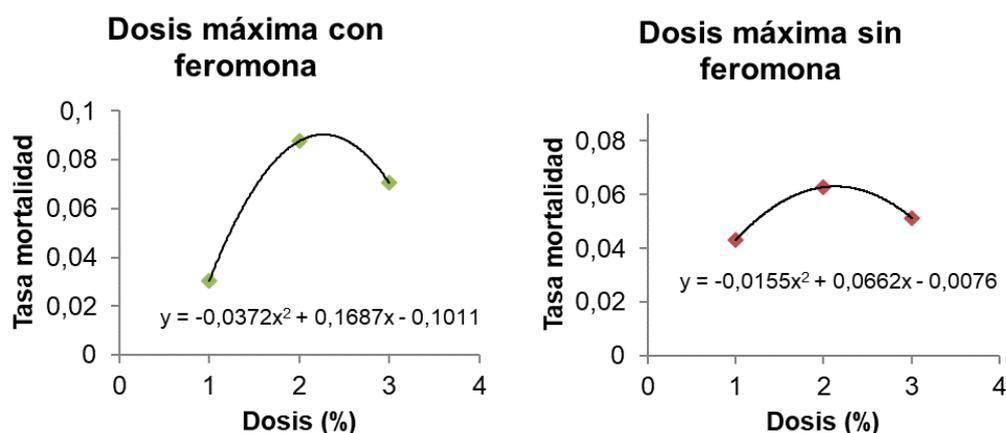
Al ordenar los valores de la pendiente, los tratamientos 5 y 6, que contenían la feromona, se ubicaron en las posiciones superiores de la tabla, seguidos por los que sólo contenían insecticida a 2 % y 3 %. Estos resultados podrían verse explicados por la presencia de la feromona, sin dejar de tener en cuenta que el espacio de la caja de petri donde se realizó el experimento podría considerarse pequeño. Por otra parte, la concentración de 1 % de insecticida presentó las tasas más bajas de mortalidad, donde igual se registraron individuos muertos.

Realizando un análisis en SAS de contrastes simples de todos contra todos se pudieron analizar varios resultados. En primera instancia, cuando se compararon los tratamientos con insecticida contra insecticida más feromona, no se encontraron diferencias significativas ( $p = 0,3135$ ) en la cantidad de individuos muertos. También se pudo saber si la respuesta que tienen las diferentes concentraciones de insecticida fue lineal o cuadrática. Se vio que, en promedio, hay una respuesta lineal ( $p = 0,0316$ ) y cuadrática ( $p = 0,0298$ ), pero cuando se analizaron los datos por separado, con y sin feromona, se observó que la respuesta, la mayor muerte de individuos, está dada por los tratamientos que tenían feromona. Si bien el agregado de feromona fue siempre el mismo, tendría efecto en la mortalidad de los insectos, frente al que

sólo contenía insecticida. En el contraste entre respuesta lineal con feromona ( $p = 0,0149$ ) y respuesta cuadrática con feromona ( $p = 0,0478$ ) se observa que son estadísticamente significativas. Es decir, que efectivamente la feromona tendría un efecto en el comportamiento de los insectos al enfrentarse al cebo que contiene feromona.

En este ensayo se obtuvo una mortalidad de 90 % de todos los machos de *P. xylostella* evaluados a las 72 horas. Dicho resultado es un poco menor al obtenido por Maxwell et al. (2006) de 96 % de mortalidad de machos de *P. xylostella* a las 24 horas, utilizando permetrina como insecticida de contacto. Además del estudio de la formulación atráctica, estos autores hicieron la prueba del doble blanco (sin insecticida y sin feromona) y a las 24 horas registraron algunas muertes. En nuestro caso eso no ocurrió, no se registraron muertes en el testigo (T7). Por otro lado, Mitchell (2002) a las 24 horas de exposición al atráctica (permetrina + feromona sexual de *P. xylostella*) llega al 100 % de mortalidad de machos, pero, cuando testea el blanco, no obtiene individuos muertos, coincidiendo con nuestros resultados. Los resultados obtenidos en este ensayo son importantes, dado que brindan una aproximación a lo que pueda pasar en el campo con el uso de atrácticas. De todas maneras, Gregg et al. (2018) mencionan que la información que se genera en ensayos de laboratorio es importante y necesaria, pero son datos preliminares y es necesaria la realización de ensayos de mayor escala y considerando otras variables, dado que en el pasaje de laboratorio a campo el comportamiento de los insectos podría cambiar y no responder de la misma manera (Knolhoff y Hecker, 2014).

Una vez que obtuvimos cuál fue el tratamiento que mejor se comportó en cuanto a mortalidad de insectos en laboratorio, se graficó la tasa de mortalidad de individuos para, de esa manera, obtener la concentración máxima de insecticida que causa su muerte. En la Figura 16 se pueden ver las gráficas de la tasa de mortalidad de los tratamientos que sólo contenían insecticida y, por otro lado, los que contenían insecticida más la feromona.



**Figura 16.** Tasa de mortalidad de individuos en función de la dosis de insecticida, con y sin el agregado de feromona.

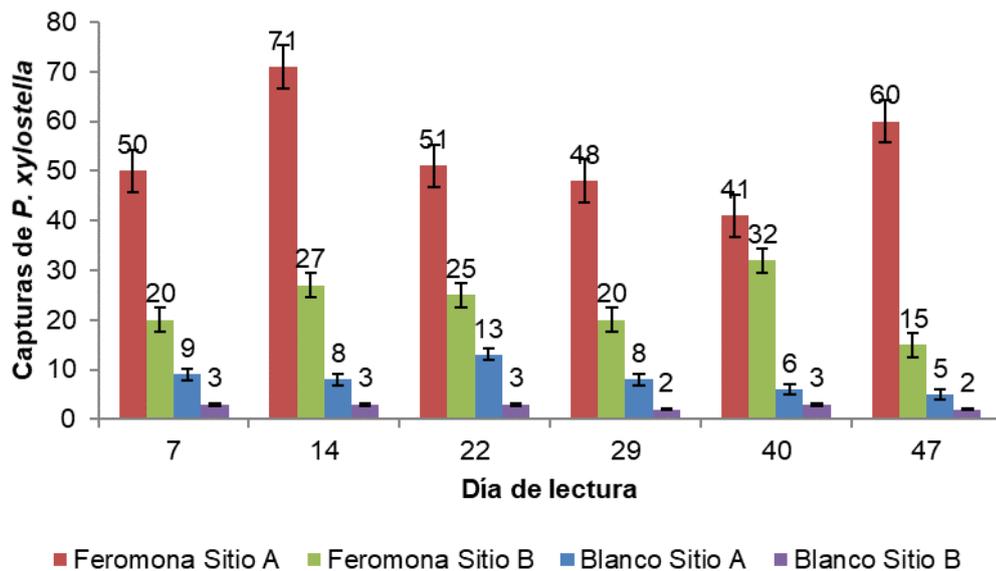
Se observó en los dos casos, con y sin feromona, que la dosis de máxima mortalidad apenas supera la concentración de 2 % de insecticida. Pero si se sigue aumentando la concentración, esa respuesta cae. Esto está dado por la menor tasa de mortalidad que se obtiene en la dosis de 3 % con y sin feromona. En los tratamientos sin feromona (T1, T2 y T3), la dosis para causar el máximo número de muertes sería de 2,20 % (2,5 ml), mientras que para los tratamientos con feromona (T4, T5 y T6) la dosis máxima sería de 2,27 % (5,667 ml). Pero si se calcula la dosis máxima de insecticida en promedio de todos los tratamientos, la misma sería de 2,25 % (5,625 ml).

Dada la superposición de los ensayos, y al contar con datos preliminares, observamos que la dosis de 2 % fue la concentración que cumplió con el objetivo de obtener la menor concentración de insecticida que causara la mayor muerte de individuos, por ello fue la dosis utilizada para los ensayos a campo.

### 3.4 ENSAYO DE CAMPO EN CULTIVO DE COLZA

#### 3.4.1 Trampas delta de monitoreo

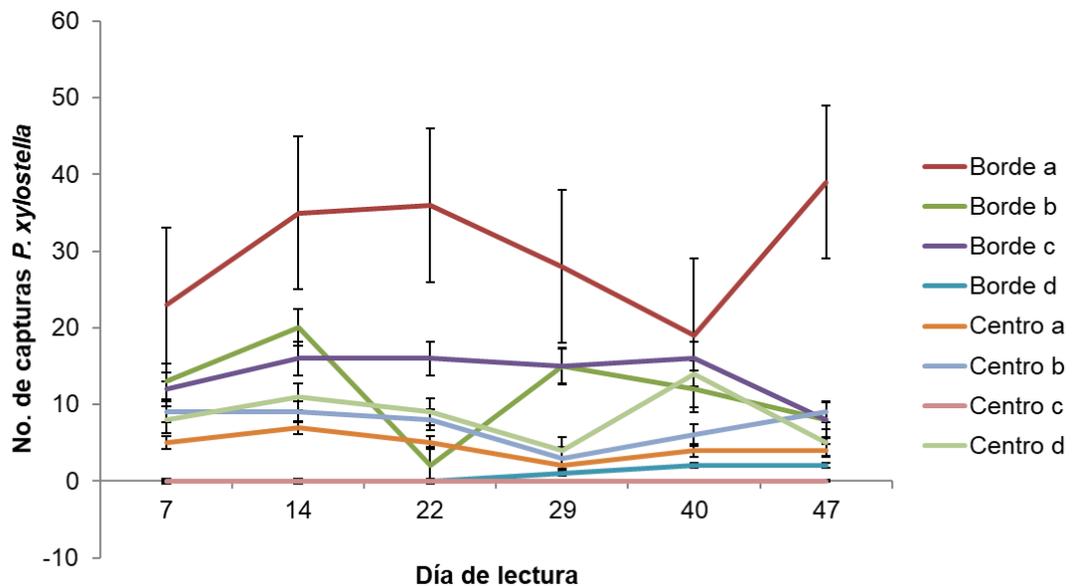
Las trampas delta de monitoreo cebadas con la feromona sintética sexual de *P. xylostella* permitieron obtener datos de presencia de adultos desde la emergencia del cultivo de colza. Dada la diferencia en el terreno del área del ensayo, se dividió en dos sitios, el sitio Alto (A) y el sitio Bajo (B). En la Figura 17 se puede observar el registro de capturas de *P. xylostella* en las trampas delta de monitoreo, tanto en las trampas cebadas con feromona como en los blancos o controles (sin feromona), para los diferentes días de lectura.



**Figura 17.** Suma de individuos capturados en trampas de monitoreo con feromona y sin feromona (Blanco) por sitio, según días de lectura en campo.

Entre los sitios se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ), así como también entre las trampas con y sin feromona ( $p < 0,0001$ ), con una media de capturas para el sitio A con feromona de  $53 \pm 3$  y una de  $23 \pm 2$  para el sitio B. Para las trampas sin feromona o blanco, la media de capturas para el sitio A fue de  $8 \pm 1$  y para el sitio B,  $3 \pm 1$ . Es por esto que para el análisis de

las trampas de monitoreo con feromona se dividió el área dentro de cada sitio. En el sitio A se definieron las zonas a y b, y en el sitio B, las zonas c y d. Asimismo, se realizó un análisis según las trampas que se encontraban ubicadas en el borde y en el centro del ensayo para evaluar el efecto del borde y hospederos alternativos.



**Figura 18.** Número de individuos capturados de *Plutella xylostella* por día de lectura según zona del ensayo.

En la Figura 18 se muestra el registro de las capturas de *P. xylostella*, observándose cómo las trampas ubicadas en el Borde a siempre se encontraron por encima de las demás. Además, se puede ver un efecto marcado del borde, dado que las trampas ubicadas en el centro las capturas nunca superaron los 20 individuos en los 47 días desde la instalación de las trampas delta de monitoreo.

La división en zonas de los sitios ayudó a la interpretación de los datos, dado que, como se vio antes, en el sitio A las capturas siempre estuvieron por encima del sitio B. El sitio A estaba ubicado en una zona más alta del terreno, caracterizado por estar separado por un camino interno a otro cultivo de colza,

mientras que el sitio B estaba lindero a un tajar y campo natural. Que las trampas ubicadas en el borde a sean donde se obtienen la mayor cantidad de capturas dentro del sitio A, coincide con que son trampas que están ubicadas en el borde de la chacra y que tienen cerca otro cultivo de colza y malezas de la familia Brassicaceae.

Es de esperar que individuos adultos de *P. xylostella* ingresaran a colonizar desde esas áreas con hospederos similares o migrar. Fernández et al. (2015) en su trabajo mencionan que aún no se conoce el origen de las infestaciones de *P. xylostella* en la región pampeana, pero sospechan que se inician en cultivos hortícolas cercanos, donde hay brasicáceas creciendo todo el año. De acuerdo con Price (1976), la colonización de un cultivo se puede dar desde diferentes distancias y depende de la especie, pero suele comenzar por los bordes del cultivo; por ello también el gradiente que observamos en las capturas, desde el borde hacia el centro.

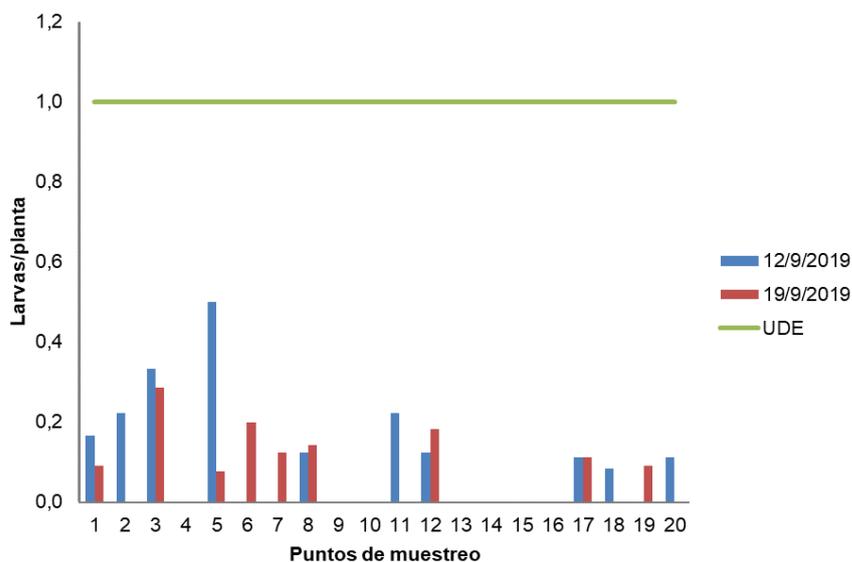
Como se mencionó antes, las trampas ubicadas en el centro del ensayo no superaron las 20 capturas por día. Esto es importante dado que muestra la eficacia de la feromona de *P. xylostella* sintetizada en detectar bajas poblaciones. Estos datos apoyan los reportados previamente por nuestro grupo de investigación (Tacain et al., 2016) en cuanto a la eficacia de la feromona, dado que en este trabajo se utilizaron los mismos componentes de la feromona utilizada en su trabajo para el monitoreo de *P. xylostella*. Además de detectar bajas poblaciones, las trampas de monitoreo proveen mucha información respecto a la especie, los registros estacionales e históricos de la especie e incluso la distribución geográfica en el cultivo del insecto (Witzgall et al., 2010).

#### 3.4.2 Monitoreo de larvas *P. xylostella*

Como forma de evaluar la presencia y el daño de larvas de *P. xylostella* en campo se realizó el monitoreo. De esta manera se verificó la presencia de

la especie en el campo, dado que el UDE (umbral de daño económico) es de 1-2 larvas/planta de vegetativo a floración (Western Committee on Crop Pests, 2021).

El monitoreo de larvas de *P. xylostella* se realizó dos veces previo a la instalación del ensayo de campo. Este consistió en elegir 5 trampas de monitoreo al azar como referencia, tres en el sitio A y dos en el sitio B. En la Figura 19 se pueden observar la cantidad de larvas por planta registradas en las dos fechas de monitoreo para cada punto de muestreo en comparación al UDE establecido.



**Figura 19.** Conteo de larvas de *Plutella xylostella* por planta en cada punto de muestreo.

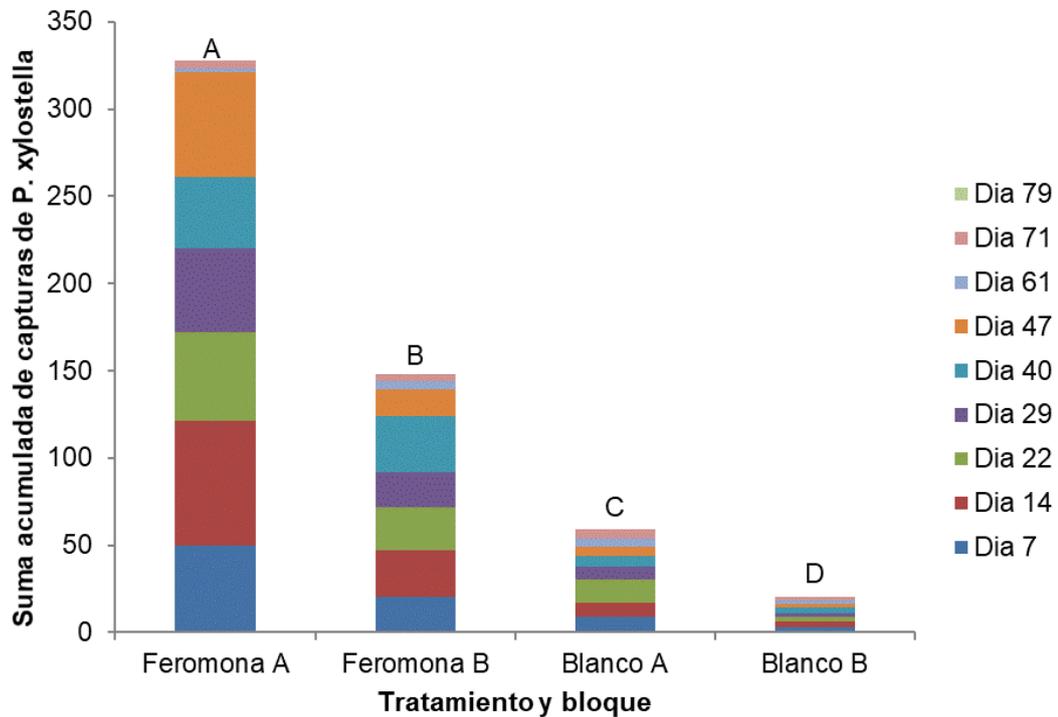
Al observar la Figura 19 podemos ver que el valor máximo que se registró fue en la primera lectura con 0,5 larvas por metro (donde hubo 8 plantas) en uno de los puntos de muestreo. Se registró que por la cantidad de larvas encontradas por planta ni en ninguna de las dos lecturas ni en los puntos de muestreo se alcanzó el UDE establecido y el daño era insignificante, por eso no fue necesario un control químico. Con base en ese resultado, no

se aplicó el tratamiento correspondiente al control químico en el ensayo de campo. El monitoreo de larvas ayudó a determinar la baja población de *P. xylostella* que se encontró ese año, reafirmando los datos proporcionados por las trampas de delta de monitoreo.

### 3.4.3 Evaluación de cebo atráctida

En las secciones anteriores se realizaron ensayos y evaluaciones, los cuales proporcionaron la información necesaria para realizar el ensayo de campo. Ejemplo de esto son los ensayos de toxicidad, donde se obtiene la mejor formulación de cebo atráctida. Las evaluaciones del estado de la población de *P. xylostella* en el área del ensayo fueron realizadas en adultos con las trampas delta de monitoreo y en larvas, mediante el monitoreo del cultivo.

Con la información proporcionada por las trampas delta de monitoreo se observó que al día 47 de instaladas en el campo se registró un pico en las capturas de *P. xylostella*. Es por esto que al día 49, correspondiente al 9 de octubre de 2019, se aplicaron los diferentes tratamientos. Los tratamientos instalados fueron: 1) Cebo atráctida, 2) Cebo de matriz pastosa, que sólo contienen feromona sexual de *P. xylostella* y 3) Testigo sin control. Cuando se decidió aplicar los tratamientos se pasó a nombrar al sitio como bloque, dado que dentro de cada bloque se realizaron divisiones en parcelas donde se ubicaron los diferentes tratamientos. En la Figura 20 se graficaron las capturas acumuladas durante todo el período del ensayo, de acuerdo al día de lectura desde instalado el ensayo hasta el final, teniendo en cuenta las trampas cebadas con feromona y blanco, y la ubicación en el ensayo de los bloques A y B.

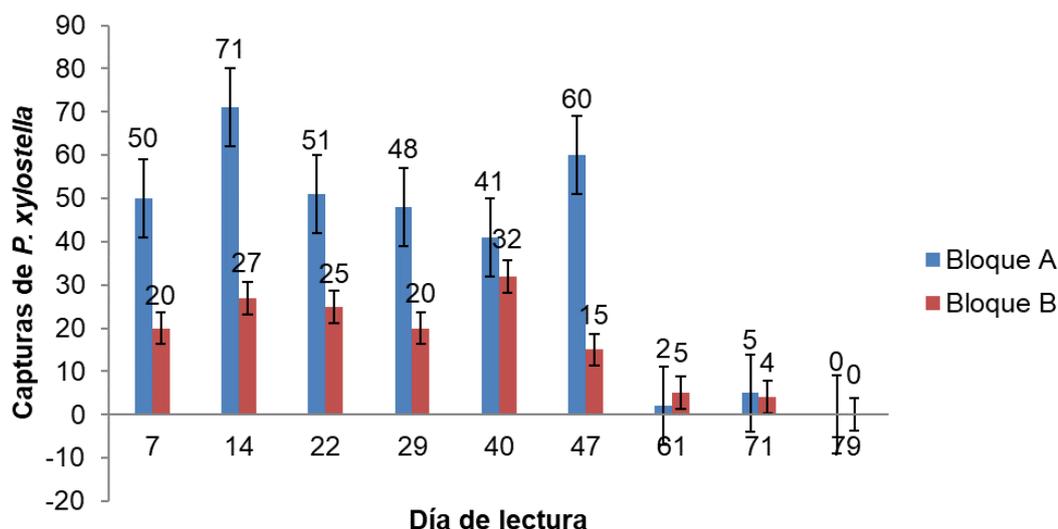


**Figura 20.** Suma de capturas acumuladas de *P. xylostella* desde la instalación de las trampas de monitoreo hasta final del ensayo, según si contenía feromona o no y el bloque al que pertenecía dentro del ensayo.

De acuerdo con lo que se observa en la Figura 20, se encontraron diferencias significativas en las capturas acumuladas durante todo el período del ensayo, tanto entre trampas cebadas con feromona y blancos ( $p = < 0,0001$ ) como entre bloques ( $p = < 0,0001$ ). Con una media de capturas acumuladas del bloque A con feromona de  $36 \pm 2$ , para el bloque B fue de  $16 \pm 1$ , mientras que para los blancos en el bloque A la media fue de  $7 \pm 1$  y en el bloque B, de  $2 \pm 1$ . El haber encontrado diferencias estadísticas entre las trampas cebadas y las blanco indica que la feromona, durante todo el tiempo que estuvo en el campo, fue efectiva para la captura de *P. xylostella*. Por otro lado, al observar las últimas tres lecturas, correspondientes a los días 61, 71 y 79, no se detectaron diferencias significativas entre los bloques ni entre las trampas cebadas con feromona y el blanco. La no diferencia entre trampas cebadas con feromona y las blanco es similar a lo reportado por nuestro grupo

de investigación (Tacain et al., 2016), donde las capturas de *P. xylostella* disminuyen, coincidiendo con la última generación de la plaga y la maduración del cultivo.

Para los análisis que aparecen a continuación no se tomaron los datos de las capturas de las trampas de monitoreo blancos, dado que sólo quedaron ubicadas en el centro del ensayo, sin contar con registros en el borde. En la Figura 21 se muestra la evolución de las capturas de *P. xylostella* en el cultivo de colza de acuerdo al bloque, desde la instalación de las trampas de monitoreo hasta la última lectura con los tratamientos aplicados.



**Figura 21.** Capturas semanales de *P. xylostella* en trampas de feromona por día de acuerdo al bloque.

En la figura se observa que los bloques registran diferencias significativas en cuanto a capturas por día de *P. xylostella* en trampas de monitoreo hasta el día 47 ( $p = < 0,0001$ ). Una vez que se aplicaron los tratamientos, las capturas de *P. xylostella* cayeron y en los últimos tres días de lectura no se registraron diferencias significativas entre bloques ( $p = 0,9242$ ). Además, se pasó de un promedio de capturas de 7,14 por día en el bloque A a 0,21 y de 2,96 a 0,25 en el bloque B.

Si bien en el bloque A hay una cantidad mayor de trampas que en el bloque B, para poder contemplar dicha diferencia se realizó análisis por la ubicación en el ensayo y la zona de cada bloque para evaluar las trampas por separado. Estos resultados se pueden observar en la Tabla 7, donde se presentan las capturas por día de lectura de las trampas delta de monitoreo según su ubicación en el cultivo.

**Tabla 7.** Media de capturas por días en lecturas de trampas delta de monitoreo según ubicación y zona hasta día 47.

<b>Ubicación</b>	<b>Media</b>	<b>EE</b>	
Borde	4,208	0,419	A
Centro	2,799	0,342	B
<b>Zona</b>			
a	6,000	0,707	A
b	3,168	0,514	B
c	2,305	0,438	B
d	2,542	0,460	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ; Tukey)

Se observó que hasta el día 47 de lectura las trampas del borde registraron más capturas que las del centro, siendo estadísticamente diferentes. En el caso de las capturas por día según la ubicación de las trampas en las zonas del ensayo, hasta el día 47 de se registraron diferencias significativas entre trampas que se encontraban en el borde y las del centro ( $p = < 0,0001$ ), mientras que, según la zona del bloque, las trampas de la zona a fueron diferentes del resto de las zonas.

En la Tabla 8 podemos observar la media de capturas en las trampas delta de monitoreo de las últimas 3 lecturas, según la ubicación y la zona en el cultivo.

**Tabla 8.** Media de capturas por día en lectura de trampas de monitoreo después de aplicar los tratamientos (días 49 a 79).

<b>Ubicación</b>	<b>Media</b>	<b>EE</b>	
Borde	0,567	0,217	A
Centro	0,083	0,083	A
<b>Zona</b>			
a	0,133	0,149	A
b	0,217	0,190	A
c	0,450	0,274	A
d	0,500	0,289	A

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ; Tukey).

Las capturas después de aplicados los tratamientos cayeron y ya no se registraron diferencias significativas entre las trampas delta de monitoreo según la ubicación y la zona.

En la Tabla 9 podemos ver la suma de capturas de *P. xylostella*, según el tratamiento aplicado.

**Tabla 9.** Suma de capturas de *P. xylostella* en trampas de monitoreo por tratamientos y bloque, según día de lectura.

<b>Tratamiento</b>	<b>Bloque</b>	<b>Día de lectura</b>		
		61	71	79
Cebo attracticida	A	0	2	0
Cebo attracticida	B	2	1	0
Feromona	A	0	1	0
Feromona	B	1	1	0
Testigo	A	1	1	0
Testigo	B	1	2	0
Sin trat.	A	1	1	0
Sin trat.	B	1	0	0

De acuerdo con esta tabla, se observó el bajo resgistro de capturas de *P. xylostella*, independientemente del tratamiento aplicado. No se encontraron

diferencias estadísticas entre los tratamientos por día de lectura ni entre los días de lectura. También se pudo observar que no hubo un efecto de cargar zonas con más feromonas que otra, dado que se podría pensar en un efecto de confusión sexual más que de atracticida. Krupke et al. (2002) mencionan que la formulación atrayente disminuye su eficacia cuando aumenta la densidad de hembras en la población, ya que un mayor número de hembras aumentaría la competencia por las fuentes naturales de feromona. Este efecto sí lo observaron Maxwell et al. (2006) con una infestación muy alta y llegaron a hipotetizar que podría tratarse de confusión sexual más que efecto del insecticida, pero concluyeron que sí se debió al efecto del atracticida el bajo daño en plantas evaluadas.

En el trabajo de Mitchell (2002), donde evalúan la matriz con y sin insecticida, variando el tamaño de gota de la aplicación, no encontraron diferencias entre los tratamientos en cuanto a atracción de individuos en el campo. A pesar de que no encontraron diferencias significativas, observaron una tendencia a reducir las capturas cuando se aumenta la dosis de la gota. De todas maneras, concluyeron que la formulación del atracticida resultó atractiva para *P. xylostella* y que la presencia del insecticida (permetrina) en la matriz no tuvo efectos negativos sobre el poder de atraer de la feromona. Pero, debido a la baja población en nuestro cultivo, no se pudo evaluar ese punto, dado que para comprobar la efectividad del atracticida se colocaron recipientes de caída debajo de los soportes que contenían el cebo y no se registró la presencia de individuos de *P. xylostella*, ya que eso podría hacer variar los resultados de la eficacia del atracticida, dado que, si el individuo no muere enseguida, queda más expuesto al ataque de predadores en el campo e incluso la mortalidad podía ser mayor que en laboratorio (De Souza et al., 1992).

Teniendo en cuenta las tablas anteriores, respecto a las capturas de *P. xylostella* en trampas delta de monitoreo, hasta el día 47 se observó cómo la mayor cantidad de capturas se da en trampas del borde del cultivo. Cuando

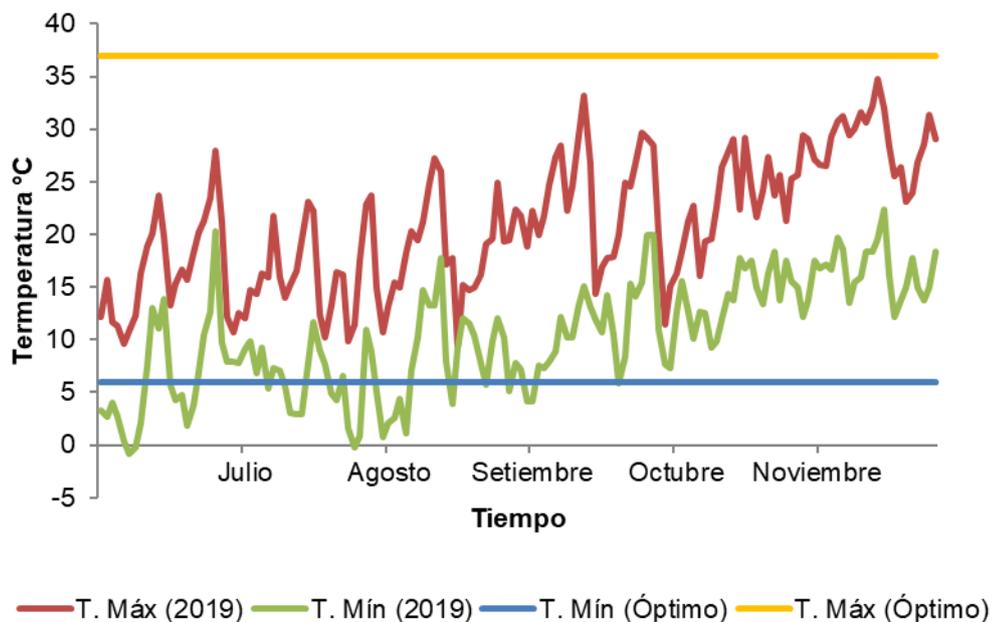
se consideró la zona en que estaban ubicadas esas trampas, se vio que era en la zona a que, como se mencionó anteriormente, se ubicaba en la zona más alta del terreno, cercano a un cultivo de colza y malezas de la familia de las brassicáceas. Hopkinson y Sonoka (2010), dada una importante infestación de *P. xylostella* en pasturas de Canadá, intentaron conocer desde dónde se había dado la migración. Encontraron que *P. xylostella* es muy irregular en su distribución y depende mucho de las condiciones climáticas, sobre todo de las corrientes de viento. Por lo que las infestaciones podrían comenzar por cultivos cercanos o estas migrar desde grandes distancias (Chu, 1986).

Price (1976) en su trabajo mencionó una serie de características en cuanto a la colonización por parte de los insectos a los cultivos. Una de ellas fue que a medida que el cultivo se desarrolla y cambia, influye en las tasas de colonización y extinción de los insectos; además, cuando el cultivo recién comienza a crecer la colonización puede ser baja y luego ir en aumento, disminuyendo durante la senescencia del cultivo. Tacain et al. (2016), con trampas delta de monitoreo cebadas con la misma formulación que nuestro trabajo, atribuyeron la caída en capturas a la senescencia del cultivo de colza. Además, *P. xylostella* para establecerse debe contar con las condiciones propicias para que aumente su población, dado que, si el vuelo en la temporada fuera temprano y el número de inmigrantes, alto, se puede dar una gran infestación (Hopkinson y Sonoka, 2010); la temperatura y la humedad son de los factores meteorológicos que más afectarían a *P. xylostella* en su infestación (Guo y Qin, 2010).

En el trabajo realizado por Marchioro y Foerster (2016) mencionan que en cultivos orgánicos en el sur de Brasil las bajas temperaturas y lluvias favorecieron el desarrollo de *P. xylostella*, encontrándola durante los meses de junio a noviembre, pero registrando picos de población en agosto y setiembre. El período de presencia de la plaga es similar al registrado por Teixeira et al. (2013), también en Brasil: a fines de primavera y principio de verano fue cuando la población de *P. xylostella* disminuyó y se extinguió. Por

el contrario, Marchioro y Foerster (2016) llegan a la conclusión de que ni la temperatura ni la lluvia fueron significativas en la abundancia de *P. xylostella*, pero sí lo fue la estacionalidad de las plantas.

En la Figura 22 se pueden observar las temperaturas mínimas y máximas registradas en el período de nuestro ensayo, así como también el rango óptimo de temperatura para el desarrollo de *P. xylostella*. Los datos de temperatura se tomaron del registro de la Estación Meteorológica de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (Paysandú-Uruguay).

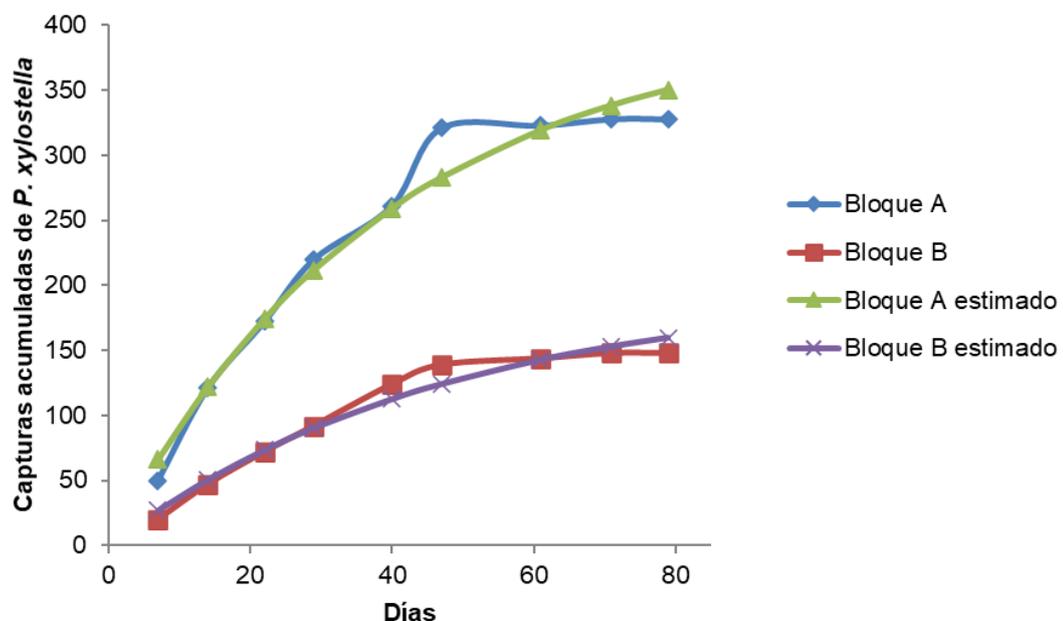


**Figura 22.** Caracterización de temperaturas máximas y mínimas de julio a noviembre del año 2019, y temperaturas máxima y mínima óptimas para desarrollo de *P. xylostella*.

Como se observa en la figura, la mayoría de los datos del registro de temperaturas máximas y mínimas oscilaron entre valores del rango óptimo estimado por Marchioro y Foerster (2011) para el desarrollo de *P. xylostella* (6 - 37 °C). Pero en los meses de agosto y setiembre se dan temperaturas por debajo de la temperatura mínima de desarrollo, por lo que también se podría

pensar que la temperatura afectó el desarrollo de *P. xylostella* en el campo, limitándolo. De todas maneras, a pesar de esas bajas temperaturas, en el mes de setiembre fue cuando se registró el pico de capturas de *P. xylostella*. Es por esto que se supone que la temperatura no tuvo un gran efecto y sí la capacidad migratoria de la plaga. En tal sentido, Campos et al. (2006) atribuyen la estacionalidad de la plaga en la región neotropical a su capacidad migratoria. Es decir, que si se encuentra en el campo, dado su gran variedad de hospederos y amplio rango de temperaturas para su desarrollo, la infestación del cultivo puede deberse más que nada a la inmigración de adultos al cultivo.

Cuando se compararon los datos de capturas acumuladas de *P. xylostella* observados con los estimados en SAS, la mayoría se ajustó, como se observa en la figura 23. De esa manera se podría observar cuál es la probabilidad de que ocurra un evento, es decir, una captura en ese período de tiempo.



**Figura 23.** Ajuste del modelo de capturas acumuladas de *Plutella xylostella* según día de lectura de trampas.

En las lecturas de los 40 y 47 días se observó una diferencia entre el modelo estimado y lo observado, donde se dio un aumento en las capturas. Dos días después (día 49) se aplicaron los tratamientos y desde ese día hasta la primera lectura de trampas de monitoreo pasaron 14 días (día 61) y es en ese periodo donde, coincidentemente, se da la caída en capturas. Por ello sería importante que la lectura de trampas se haga de forma semanal, para, de esta manera, tener un mejor ajuste del modelo y predicción de eventos.

### 3.4.3.1 Monitoreo de otras poblaciones de insectos

Además de evaluar los cebos a través de las trampas delta de monitoreo, en la última lectura de trampas y 10 días después se realizó la lectura de trampas engomadas que fueron ubicadas en plantas cercanas a los tratamientos aplicados. Por parcela del ensayo se colocaron 8 trampas engomadas directamente sobre las plantas, en las parcelas que tuvieron aplicación de tratamientos, las cuales fueron sustituidas una vez. En la Tabla 10 se observa la suma de adultos de *P. xylostella* capturados por las trampas engomadas.

**Tabla 10.** Suma de adultos de *Plutella xylostella* capturados en trampas engomadas por tratamiento y bloque, según fecha de lectura.

Tratamiento	Bloque	Fecha de lectura	
		8/11/2019	18/11/2019
Testigo	A	2	0
Testigo	B	3	0
Feromona	A	0	0
Feromona	B	2	0
Cebo atracticida	A	2	0
Cebo atracticida	B	3	0

En la tabla se observa que el día en que se realizó la última lectura de trampas de monitoreo (8/11/2019) se encontraron individuos, mientras que para la última lectura ya no se registraron individuos de *P. xylostella*. El uso

de trampas engomadas brinda información en cuanto a la presencia de insectos que se posan en las trampas o que vuelan arrastrados por el viento (Johnson, 1950). A diferencia de las trampas de feromona sexual de *P. xylostella*, en las trampas engomadas quedan adheridos tanto hembras como machos.

Dado que en las trampas engomadas quedan adheridos insectos que vuelan, en la segunda lectura de trampas engomadas se detectó, además de *P. xylostella*, la presencia de un coleóptero, *Astylus quadrilineatus* (G.) de la familia Melyridae. La familia Melyridae comprende unas 6000 especies que se encuentran distribuidas por todo el mundo; en muchos casos los adultos visitan flores para alimentarse, aunque los puede haber depredadores. Además, en ocasiones, es posible encontrar varios en una misma flor, como lo es el caso de *Astylus quadrilineatus* (Bentancourt et al., 2009). Como se observa en la Tabla 11, en la suma de las trampas que se ubicaron en las parcelas de los tratamientos, se encuentran valores de 0 a 24.

**Tabla 11.** Suma de individuos de *Astylus quadrilineatus* en trampas engomadas por tratamiento y bloque, según fecha de lectura.

Tratamiento	Bloque	Fecha lectura	
		8/11/2019	18/11/2019
Cebo atracticida	B	0	0
Cebo atracticida	A	0	19
Feromona	B	0	4
Feromona	A	0	1
Testigo	B	0	2
Testigo	A	0	24

La presencia de *A. quadrilineatus* en el cultivo de colza es uno de los primeros reportes de este, dado que en Uruguay no se tiene registros suyos en algún cultivo. En Argentina, en la región de La Pampa, se registró la presencia de este coleóptero como polinizador en las especies *Cypella*

*herbertii* y *Alophia lahue*. Por otro lado, en la misma zona, Bongianino y Cuadrelli (2016) lo mencionan como plaga secundaria de la quinua (*Chenopodium quinoa*). También en la provincia de Buenos Aires (Argentina) se encuentra a *A. quadrilineatus* como visitante floral de varias especies de plantas (Haedo et al., 2017).

Este coleóptero también se encuentra presente en Brasil, más precisamente en el estado de Río Grande del Sur, en cultivos de olivos, pero sólo en períodos de floración (Ricalde et al., 2015). En el mismo estado se registró su presencia en manzanos (Nunes-Silva et al., 2016). Además, Faoro y Orth (2014), en el estado de Santa Catarina (Brasil), destacan la presencia de este coleóptero en las flores de perales; piensan que se debe a que se vieron atraídos por la gran producción de polen del peral y a la reducción de otros alimentos. Eso confirmaría lo mencionado por Wäckers et al. (2007), que a veces los escarabajos adultos combinan su alimentación con polen, néctar y tejidos florales.

Además de encontrarse *A. quadrilineatus* en trampas engomadas, se lo encontró en los recipientes de caída, ubicados debajo de los soportes que contenían el cebo atráctico o la feromona de *P. xylostella* (Figura 24).



**Figura 24.** *Astylus quadrilineatus* en parte exterior de soportes de cebo (A) y en recipientes de caída debajo de soportes (B).

En la Tabla 12 se puede observar la suma de la colecta de estos insectos según el tratamiento aplicado y el bloque. Sólo se registraron en dos tratamientos, dado que eran los únicos que tenían los recipientes de caída.

**Tabla 12.** Suma de colecta de *Astylus quadrilineatus* en recipientes de caída por tratamiento y bloque, según fecha de lectura.

Tratamiento	Bloque	Fecha lectura	
		8/11/2019	18/11/2019
Cebo atracticida	B	34	13
Cebo atracticida	A	43	16
Feromona	B	109	5
Feromona	A	5	1

Como se puede ver en la tabla, en las dos fechas de lectura se registró la presencia de este coleóptero. Se podría pensar que se vio atraído por algún componente de la matriz pastosa. En las consultas realizadas en The Pherobase (El-Sayed, 2021) no se detectaron componentes de las feromonas sexuales o de agregación que pudieran ser compartidas con *P. xylostella*, pero otros estímulos no fueron descartados. Además, se puede ver que las capturas fueron mucho mayores en el bloque B que en el A, principalmente en el tratamiento con feromona, mientras que para el tratamiento de cebo atracticida las diferencias entre bloques son pequeñas. Asimismo, en el cultivo no se realizaron aplicaciones de insecticidas, lo cual favorece la diversidad de insectos que lo visitan.

#### 3.4.3.2 Rendimiento de colza

Una vez que el cultivo de colza finalizó su ciclo, se cosecharon plantas dentro de cada parcela donde se aplicaron los tratamientos para obtener el resultado del rendimiento y observar si hubo diferencias o no. En la Tabla 13 se puede ver que se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p = 0,0178$ ), pero no entre bloques ( $p = 0,8059$ ).

**Tabla 13.** Media de rendimiento (kg/ha± EE) de colza por tratamiento y por bloque.

<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>	<b>EE</b>	
Cebo atracticida	3274	146,44	A
Feromona	2595,5	146,44	AB
Testigo	1950	146,44	B
<b>Bloque</b>			
Alto	2533,67	392,66	A
Bajo	2679,33	392,66	A

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ; Tukey)

A pesar de que se encontraron diferencias entre tratamientos, no fue posible adjudicar el efecto del tratamiento a esa diferencia, dado que, como se vio antes, la presencia tanto de larvas como de adultos fue baja como para adjudicar que el daño causado por *P. xylostella* haya generado esas diferencias. Los resultados del rendimiento por bloque de este material de colza son similares a los obtenidos por Baccino y Kacevas (2016), con la siembra de este en el mes de junio.

Estos autores concluyeron que el rendimiento tiene una estrecha relación con la fecha de siembra, de acuerdo al material utilizado; en el caso de Rivette cuanto más se atrasó la fecha de siembra, menor fue rendimiento. Cuando se atrasa la fecha de siembra el período de floración se acorta. Ello tiene sentido si se observan los resultados en los recipientes de caída en la sección anterior, donde en la primera fecha las caídas de *A. quadrilineatus* son mucho mayores que cuando el cultivo esta senescente, dado que estos se pudieron ver atraídos por las flores. Si estos coleópteros actúan como polinizadores, al igual que otros insectos que se encontraban presentes, el

cultivo de colza se ve favorecido, dado que la presencia de polinizadores mejora la uniformidad del cultivo y eso determina una mayor proporción de grano en la biomasa producida (Mazzilli et al., 2016). El uso de tecnologías como las trampas atrácticas tiende a proteger la diversidad de artrópodos de la colza.

#### 4. CONCLUSIONES

*P. xylostella* logra completar el ciclo hasta obtener imagos en cualquiera de los cinco alimentos evaluados: *Brassica napus* (colza), *Brassica carinata* (carinata), *Brassica oleracea var. capitata* (repollo), *Rapistrum rugosum* (mostacilla) y *Raphanus raphanistrum* (rábano) y dejar descendencia viable, a pesar de que haya diferencias entre los parámetros demográficos de cada uno. El alimento más idóneo para el desarrollo y reproducción de *P. xylostella* en laboratorio fue mostacilla, debido a que fue el alimento con el que se completó el ciclo en menos tiempo. Esto permitiría obtener de manera rápida una población en laboratorio. Sin embargo, dado que el ciclo del insecto pudo completarse en todos los alimentos, se podría mantener la cría en condiciones de laboratorio durante todo el año. A pesar de que con repollo no se obtienen los mismos parámetros demográficos que en otras brassicáceas, la tasa intrínseca de incremento fue la menor y el tiempo de generación y la tasa de duplicación de la población fueron de los más largos. Por ello hubiera sido bueno evaluar el repollo sembrado en condiciones similares al resto de los alimentos. Además, se muestra que dentro de cultivos también hay diferencias, como las observadas entre colza y carinata, donde la  $r_m$  de colza es mayor. Esto podría indicar que *P. xylostella* en el campo podría tener alguna ventaja al desarrollarse en colza, viéndose afectada con una dinámica diferente que carinata, así como también se podría considerar el buen desarrollo que tuvo *P. xylostella* en mostacilla y tenerlo presente al momento del manejo agronómico del cultivo, dado que puede infestar y/o reinfestar los cultivos si tenemos plantas de esas especies cerca. Futuros ensayos deberían realizarse para considerar otras especies de la familia Brassicaceae, tanto cultivadas como silvestres. Contar con la feromona sexual sintética de *P. xylostella* para poblaciones locales es un paso importante, dado que, como se vio, para el monitoreo es una herramienta eficiente y de fácil implementación. Se llegó a la formulación del cebo atráctico para un posible control de *P. xylostella* de acuerdo a lo evaluado en condiciones de laboratorio. Si bien la

actividad atracticida no pudo ser constatada a campo debido a la baja abundancia de *P. xylostella* registrada a campo, los avances logrados en la identificación de producto y de la dosis más efectiva, así como la determinación de la matriz como vehículo y de cebos más adecuados, resultan en un importante avance en la delimitación de una estrategia de manejo sustentable de esta plaga. Los resultados de este trabajo son alentadores para poder seguir investigando y generando más conocimiento del tema, dado que como se vió queda mucho por explorar, no sólo en el cultivo de colza sino en otras brasicáceas. Se podrían realizar ensayos con diferentes metodologías, incorporar ensayos en semicampo, túneles de viento, entre otros. Dado que sería una alternativa promisoría para diferentes sistemas de producción, tanto cultivos extensivos como intensivos.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Agboyi LK, Ketoh GK, Martin T, Glitho IA, Tamo M. 2016. Pesticide resistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) populations from Togo and Benin. *International Journal of Tropical Insect Science*, 36(4): 204-210. DOI: 10.1017/S1742758416000138
- Ahuja I, Rohloff J, Bones AM. 2011. Defence mechanisms of Brassicaceae: implications for plant-insect interactions and potential for integrated pest management. *Sustainable Agriculture*, Vol 2: 623-670. DOI: 10.1051/agro/2009025
- Altesor P, González A. 2013. Monitoreo y detección de *Epinotia* (*Crociosema aporema*, Lepidoptera: Tortricidae) con trampas de feromonas. Montevideo, Uruguay. INIA-FPTA n.º 46.
- Altieri MA. 1999. Agroecología, bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 338 p.
- Antúnez K, Invernizzi C, Mendoza Y, Vanengelsdorp D, Zunino P. 2017. Honeybee colony losses in Uruguay during 2013–2014. *Apidologie*, 48: 364–370. DOI: 10.1007/s13592-016-0482-2
- Aslam M, Razaq M. 2007. Arthropod fauna of *Brassica napus* and *Brassica juncea* from Southern Punjab (Pakistan). *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 24: 49-50.
- Awmack CS, Leather SR. 2002. Host Plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47: 817–844. DOI: 10.1146/annurev.ento.47.091201.145300

- Baccino S, Kacevas A. 2016. Efecto de la fecha de siembra en el rendimiento y la calidad del cultivo de colza. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 79 p.
- Barrera JF, Herrera J, Villacorta A, García H, Cruz L. 2006. Trampas de metanol-etanol para detección, monitoreo y control de la broca del café *Hypothenemus hampei*. Simposio sobre trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de plagas de importancia económica. Chiapas, México: Sociedad Mexicana de Entomología. El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula. 71-83.
- Behmer S, Grebenok R. 1998. Impact of dietary sterols on life-history traits of a caterpillar. *Physiological Entomology*, 23: 165–175. DOI: 10.1046/j.1365-3032.1998.232074.x
- Bentancourt CM, Morelli ER, Scatoni IB. 2009. Insectos del Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía-Facultad de Ciencias. Montevideo. Uruguay. 659 p.
- Bentancourt CM, Scatoni IB. 2006. Lepidópteros de importancia económica en Uruguay. Reconocimiento, biología y daños de las plagas agrícolas y forestales. Editorial Hemisferio Sur – Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. 123 – 129.
- Björkman C. 2000. Interactive effects of host resistance and drought stress on the performance of a gall-making aphid living on Norway spruce. *Oecologia*, 123: 223–231. DOI: 10.1007/s004420051009
- Blanco JDS, Piedra EC, Fuentes FG. 2020. Monitoreo de *Spodoptera spp.* en caña de azúcar: uso de trampas con feromonas sexuales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2): 445-459. DOI: 10.15517/am.v31i2.39046

- Bongianino SE, Cuadrelli JP. 2016. Evaluación del comportamiento agronómico y rendimiento de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en la región semiárida pampeana. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Universidad de La Pampa. 36 p.
- Borrioni P, Rolando C. 1996. Control de la polilla oriental *Cydia molesta* (Busck), mediante el método de confusión sexual y su efecto sobre insectos y ácaros asociados al cultivo del duraznero. Tesis Ing. Agr. Chile. Universidad de Chile. Escuela de Agronomía. 76 p.
- Campos WG, Schoereder JH, DeSouza OF. 2006. Seasonality in neotropical populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera): resource availability and migration. *Population Ecology*, 48: 151–158. DOI: 10.1007/s10144-005-0250-z
- Cartwright B, Edelson JV, Chambers C. 1987. Composite action thresholds for the control of lepidopterous pests on fresh-market cabbage in the lower Rio Grande Valley of Texas. *Journal of Economic Entomology*, 80(1): 175-181. DOI: 10.1093/jee/80.1.175
- Castell AG, Falk L. 1980. Effects of dietary canola seed on pig performance and backfat composition. *Canadian Journal of Animal Science*. 60(3): 795-797. DOI: 10.4141/cjas80-092
- Castro M. 2016. Aspectos agronómicos a tener en cuenta en el cultivo de colza. En Jornada Cultivo de Invierno. Precisión y estrategia: las claves para elegir alternativas viables (presentación oral). CREA-INIA. Montevideo, Uruguay.

- Chow YS, Chiu SC, Chien CC. 1974. Demonstration of a sex pheromone of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 67(3): 510-512. DOI: 10.1093/aesa/67.3.510
- Chu Y. 1986. The Migration of Diamondback Moth. Diamondback moth management. International Workshop on Diamondback Moth Management, 1<sup>st</sup> Tainan Mar 11-15, Taiwan. 86-248.
- Cracco Rehermann M. 2018. Impacto de *Apis mellifera* en los componentes del rendimiento del cultivo de canola. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 46 p.
- Crawley MJ. 2012. *The R Book*. John Wiley & Sons. Imperial College London at Silwood Park. Reino Unido. 869-892.
- Curkovic T, Brunner JF. 2003. Evaluación de una formulación atrácticida para control de *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) en manzanos en el estado de Washington, EE. UU. *Agricultura Técnica*, 63(3): 231-239. DOI: 10.4067/S0365-28072003000300002
- De Bruyn L, Scheirs J, Verhagen R. 2002. Nutrient Stress, Host Plant Quality and Herbivore Performance of a Leaf-Mining Fly on Grass. *Oecologia*, 130: 594–599. DOI: 10.1007/s00442-001-0840-1
- De Souza KR, McVeigh LJ, Wright DJ. 1992. Selection of Insecticides for lure and kill studies against *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 85: 2100–2106. DOI: 10.1093/jee/85.6.2100
- Del Socorro A, Gregg P, Binns M, Baker G, Gulliver S. 2014. Attract-and-kill for the diamondback moth, '*Plutella xylostella*' in canola. Annual Conference

of the Australian Entomological Society Abstracts. Australian Entomological Society. 26-26.

Depetris Nicolás FA. 2016. Diversidad de artrópodos en viñas con manejo fitosanitario convencional y con feromonas de confusión sexual para *Lobesia botrana* (D. & S.). Tesis de pregrado. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 88 p.

Dosdall LM, Cárcamo H, Olfert O, Meers S, Hartley S, Gavloski J. 2011a. Insect invasions of agroecosystems in the western Canadian prairies: case histories, patterns, and implications for ecosystem function. *Biological Invasions*, 13(5): 1135-1149. DOI: 10.1007/s10530-011-9951-8

Dosdall LM, Soroka JJ, Olfert O. 2011b. The diamondback moth in canola and mustard: current pest status and future prospects. *Prairie Soils Crops Journal*, 4: 66-76.

Downey RK. 1983. The origin and description of the *Brassica* oilseed crop. En: Kramer J, Sauer F, Pidgen W. (eds.). High and low erucic acid rapeseed oils: Production, usage, chemistry and toxicological evaluation. New York: Academic. 1-20.

Eigenbrode SD, Shelton AM, Dickson MH. 1990. Two Types of Resistance to the Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) in Cabbage. *Environmental Entomology*, 19: 1086–1090. DOI: 10.1093/ee/19.4.1086

El-Sayed AM. 2021. The Pherobase: Database of Pheromones and Semiochemicals. [En línea]. Consultado el 21 de junio de 2021. Disponible en: <https://www.pherobase.com/database/family/family-A.php>

- El-Sayed AM, Suckling DM, Byers JA, Jang EB, Wearing CH. 2009. Potential of “lure and kill” in long-term pest management and eradication of invasive species. *Journal of economic entomology*, 102(3): 815-835. DOI: 10.1603/029.102.0301
- Faoro ID, Orth AI. 2014. Occurrence of melitophily and cantarophily on pear trees pollination in Brazil. In XII International Pear Symposium 1094. 269-274.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics). Value of Agricultural Production. 2021. [En línea]. Consultado el 15 de junio de 2021. Disponible en: <http://fenix.fao.org/faostat/beta/es/#data/QC>
- Fathipour YA, Mirhosseini MA. 2017. Diamondback moth (*Plutella xylostella*) management. Integrated management of insect pests on canola and other brassica oilseed crops, 13-43. ISBN-13: 978 1 78064 820 0
- Fernández C, Vignaroli L, Gonsebatt G, Reyes V, Leoncelli G, Cánepa ME, Pigozzi L, Montero G, Lietti M. 2015. La “polilla de las coles”, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) y el cultivo de colza. *Agromensajes*, 41: 47-51.
- Folcia AM, Bado SG. 1996. Aspectos morfológicos, biológicos e ingesta de *Plutella xylostella* [L.] [Lepidoptera: Plutellidae]. Morphological, biological and consumption aspects of *Plutella xylostella* [L.] [Lepidoptera: Plutellidae]. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 16(3).
- Gamarra H, Kreuze J. 2020. Propuesta: atracticida: aplicación de una nueva tecnología para el manejo de *Tecia solanivora* “polilla guatemalteca de la papa”. IV Taller Internacional de la Polilla Guatemalteca de la Papa *Tecia solanivora*. Tenerife. Islas Canarias. España. 66-71.

- Gaston LK, Shorey HH, Saario CA. 1967. Insect population control by the use of sex pheromones to inhibit orientation between the sexes. *Nature*, 213(5081): 1155-1155. DOI: 10.1038/2131155a0
- Gautam MP, Singh H, Kumar S, Kumar V, Singh S. 2018. Diamondback moth, *Plutellaxylostella* (Linnaeus) (Insecta: Lepidoptera: Plutellidae) a major insect of cabbage in India: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6: 1394–1399.
- Gerding M. 2009. Plagas en canola, lupino y arveja. Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias. [En línea]. Consultado el 16 de junio de 2021. Disponible en: <https://docplayer.es/4522168-4plagas-en-canola-lupino-y-arveja-marcos-gerding-p-autor-ingeniero-agronomo-m-sc-entomologia-inia-quilamapu.html>
- Golizadeh A, Kamali K, Fathipour 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(2): 115-124.
- Gong Y, Wang C, Yang Y, Wu S, Wu Y. 2010. Characterization of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac in *Plutella xylostella* from China. *Journal of Invertebrate Pathology*, 104(2): 90-96. DOI: 10.1016/j.jip.2010.02.003
- González A, Altesor P, Sellanes C, Rossini C. 2012. Aplicación de feromonas sexuales en el manejo de lepidópteros plaga de cultivos agrícolas. *Temas selectos de Ecología Química de insectos*. Chiapas. ECOSUR. 343-60.

- Guo S, Qin Y. 2010. Effects of Temperature and Humidity on Emergence Dynamics of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 103: 2028–2033. DOI: 10.1603/EC09251
- Gregg PC, Del Socorro AP, Landolt PJ. 2018. Advances in attract-and-kill for agricultural pests: beyond pheromones. *Annual Review of Entomology*, 63: 453–470. DOI: 10.1146/annurev-ento-031616-035040
- Gu H, Fitt GP, Baker GH. 2007. Invertebrate pests of canola and their management in Australia: a review. *Australian Journal of Entomology*, 46(3): 231-243. DOI: 10.1111/j.1440-6055.2007.00594.x
- Gupta PD, Thorsteinson AJ. 1960. Food plant relationships of the Diamond-back moth (*Plutella maculipennis* (Curt.)) II. Sensory regulation of oviposition of the adult female. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 3(4): 305-314. DOI: 10.1111/j.1570-7458.1960.tb00459.x
- Haedo JP, Stalldecker P, Marrero HJ. 2017. Plantas nativas del sudoeste bonaerense potencialmente útiles para la conservación de los polinizadores en agroecosistemas. *Tellus-Asociación Conservacionista del Sur. Bioscriba*, 8(1); 12-23.
- Hama H. 1987. Development of pyrethroid resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* Linné (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Applied Entomology and Zoology*. 22(2): 166-175. DOI: 10.1303/aez.22.166
- Hama H, Suzuki K, Tanaka H. 1992. Inheritance and stability of resistance to *Bacillus thuringiensis* formulations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Applied Entomology and Zoology*, 27(3): 355-362. DOI: 10.1303/aez.27.355

- Harcourt DG. 1957. Biology of the Diamondback Moth, *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera: Plutellidae), in Eastern Ontario. II. Life-History, Behaviour, and Host Relationships. *The Canadian Entomologist*, 89(12): 554-564. DOI: 10.4039/Ent89554-12
- Harcourt DG. 1986. Population dynamics of the diamondback moth in southern Ontario. Diamondback moth management. [En línea]. Consultado el 22 de octubre de 2021. Disponible en: <https://worldveg.tind.io/record/9934>
- Haynes KF, Li W-G, Baker TC. 1986. Control of pink bollworm moth (Lepidoptera: Gelechiidae) with insecticides and pheromones (Attracticide): lethal and sublethal effects. *Journal of Economic Entomology*, 79: 1466–1471. DOI: 10.1093/jee/79.6.1466
- Haynes KF, Baker TC. 1985. Sublethal effects of permethrin on the chemical communication system of the pink bollworm moth, *Pectinophora gossypiella*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 2: 283–293. DOI: 10.1002/arch.940020306
- Heap I. 2020. The International Herbicide-Resistant Weed Database. [En línea]. Consultado el 21 de junio de 2021. Disponible en: [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)
- Holloway PJ, Brown GA, Baker EA, Macey MJK. 1977. Chemical composition and ultrastructure of the epicuticular wax in three lines of *Brassica napus* (L). *Chemistry and Physics of Lipids*, 19: 114–127. DOI: 10.1016/0009-3084(77)90092-5
- Hopkinson RF, Soroka JJ. 2010. Air trajectory model applied to an in-depth diagnosis of potential diamondback moth infestations on the Canadian Prairies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150: 1–11. DOI: 10.1016/j.agrformet.2009.07.015

- Hough-Goldstein J, Hahn SP. 1992. Antifeedant and oviposition deterrent activity of an aqueous extract of *Tanacetum vulgare* L. on two cabbage pests. *Environmental Entomology*, 21: 837–844. DOI: 10.1093/ee/21.4.837
- Idris AB, Grafius E. 1996. Effects of wild and cultivated host plants on oviposition, survival, and development of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Environmental Entomology*, 25: 825–833. DOI: 10.1093/ee/25.4.825
- Iqbal M, Verkerk RH, Furlong MJ, Ong PC, Rahman SA, Wright DJ. 1996. Evidence for resistance to *Bacillus thuringiensis* (Bt) subsp. *kurstaki* HD-1, Bt subsp. *aizawai* and Abamectin in field populations of *Plutella xylostella* from Malaysia. *Pesticide Science*, 48(1): 89-97. DOI: 10.1002/(SICI)1096-9063(199609)48:1<89::AID-PS450>3.0.CO;2-B
- Johnson CG. 1950. The comparison of suction trap, sticky trap and tow-net for the quantitative sampling of small airborne insects. *Annals of Applied Biology*, 37(2): 268-285. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1950.tb01045.x
- Kahuthia-Gathu R, Löhr B, Poehling HM. 2008. Development and reproductive potential of diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on cultivated and wild crucifer species in Kenya. *International Journal of Tropical Insect Science*, 28(1): 19-29. DOI: 10.1017/S1742758408901375
- Karlson P, Lüscher M. 1959. 'Pheromones': a new term for a class of biologically active substances. *Nature*, 183: 55-56. DOI: 10.1038/183055a0

- Khaliq A, Attique MNR, Sayyed AH. 2007. Evidence for resistance to pyrethroids and organophosphates in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from Pakistan. *Bulletin of entomological research*, 97(2): 191-200. DOI: 10.1017/S0007485307004877
- Knolhoff LM, Heckel DG. 2014. Behavioral assays for studies of host plant choice and adaptation in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 59: 263–278. DOI: 10.1146/annurev-ento-011613-161945
- Kogan M. 1998. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, 43(1): 243-270. DOI: 10.1146/annurev.ento.43.1.243
- Koritsas VM, Lewis JA, Fenwick GR. 1991. Glucosinolate responses of oilseed rape, mustard and kale to mechanical wounding and infestation by cabbage stem flea beetle (*Psylliodes chrysocephala*). *Annals of Applied Biology*, 118: 209–221. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1991.tb06099.x
- Krupke CH, Roitberg BD, Judd GJR. 2002. Field and laboratory responses of male codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) to a pheromone-based attract-and-kill strategy. *Environmental Entomology*, 31: 189–197. DOI: 10.1603/0046-225X-31.2.189
- Lamb RJ. 1989. Entomology of oilseed *Brassica* crops. *Annual Review of Entomology*, 34(1):211-229. DOI: 10.1146/annurev.en.34.010189.001235.
- Leather SR, Burnand AC. 1987. Factors affecting life-history parameters of the pine beauty moth, *Panolis flammea* (D&S): The Hidden Costs of Reproduction. *Functional Ecology*, 1: 331–338. DOI: 10.2307/2389789

- Lee S, Lee DW, Boo KS. 2005. Sex pheromone composition of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L) in Korea. Journal of Asia-Pacific Entomology, 8(3): 243-248. DOI: 10.1016/S1226-8615(08)60241-1
- Liu YB, Tabashnik BE. 1997. Visual determination of sex of diamondback moth larvae. The Canadian Entomologist, 129(3): 585-586. DOI: 10.4039/Ent129585-3
- Liu MY, Tzeng YJ, Sun CN. 1981. Diamondback moth resistance to several synthetic pyrethroids. Journal of Economic Entomology, 74(4): 393-396. DOI: 10.1093/jee/74.4.393
- Malo EA, Cruz-Lopez L, Valle-Mora J, Virgen A, Sanchez JA, Rojas JC. 2001. Evaluation of commercial pheromone lures and traps for monitoring male fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in the coastal region of Chiapas, Mexico. Florida Entomologist, 84(4): 659-664. DOI: 10.2307/3496398
- Marchioro CA, Foerster LA. 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, 328–333. DOI: 10.1016/j.rbe.2016.06.004
- Marchioro CA, Foerster LA. 2014. Preference–performance linkage in the diamondback moth, *Plutella xylostella*, and implications for its management. Journal of Insect Science, 14(1): 85. DOI: 10.1093/jis/14.1.85
- Marchioro CA, Foerster LA. 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: 533-541.  
DOI: 10.1590/S1519-566X2011000500003

Martino DL, Ponce de León F. 1999. Canola; una alternativa promisoriosa. Serie Técnica INIA, n.º 105. Montevideo. 98 p. ISBN: 997-38-101-0.

Maxwell EM, Fadamiro HY, McLaughlin JR. 2006. Suppression of *Plutella xylostella* and *Trichoplusia ni* in cole crops with attracticide formulations. *Journal of Economic Entomology*, 99(4): 1334-1344. DOI: 10.1093/jee/99.4.1334

Mazzilli SR, Abbate S, Silva H, Mendoza Y. 2020. *Apis mellifera* visitation enhances productivity in rapeseed. *Journal of Apicultural Research*, 1–9. DOI: 10.1080/00218839.2020.1856558

Mazzilli S, Abbate S, Mendoza Y, Dobreff N, Rosas M, Silchenko S, De Andrea F, Fros D. 2016. El rol de *Apis mellifera* en el cultivo de canola (*Brassica napus* L.). *Cangüé*, 37: 14-8.

Mazzilli SR, Elizazú A, Locatelli A. 2014. Desarrollo tecnológico de la colza en Uruguay. Simposio Latino Americano de Canola (1.º, 2014, Passo Fundo, RS, BR). Memorias. Brasilia, EMBRAPA Trigo. s.p. [En línea]. Consultado el 18 de junio de 2021. Disponible en: [http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Mazilli%20-%20Desarrollo...%20\(%20Investigacion\)%20de%20la%20colza%20en%20Uruguay..pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Mazilli%20-%20Desarrollo...%20(%20Investigacion)%20de%20la%20colza%20en%20Uruguay..pdf)

McGregor DI, Downey RK. 1975. A rapid and simple assay for identifying low glucosinolate rapeseed. *Canadian Journal of Plant Science*, 55(1): 191-196. DOI: 10.4141/cjps75-028

- McNeil JN. 1991. Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in moths and its importance in the use of pheromone traps. *Annual Review of Entomology*, 36(1): 407-430. DOI: 10.1146/annurev.en.36.010191.002203
- Mena Guerrero J, Hernández Fernández J. (2017). Brasicáceas y perspectivas de control biológico del insecto plaga *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) utilizando *Bacillus thuringiensis*. *MUTIS, Journal of the Faculty of Sciences and Engineering*, Vol. 7(2): 7-22. DOI: 10.21789/22561498.1245
- MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). 2021. Productos fitosanitarios autorizados para control de *Plutella xylostella* en el cultivo de colza. [En línea]. Consultado el 20 de junio de 2021. Disponible en: <https://www.mgap.gub.uy/profit/wwcultivos.aspx>
- Mitchell ER. 2002. Promising new technology for managing diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in cabbage with pheromone. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 37: 277–290. DOI: 10.1081/PFC-120003105
- Mondino M. 2018. Picudo del algodnero: empleo de dispositivos atráctcidas en el control etológico del picudo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Santiago del Estero-Tucumán. Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero. Argentina. 10 p.
- Montero G, Vignaroli L, Cavaglia S, Lietti M. 2007. Colza algo nuevo en la región. *Revista Agromensajes de la Facultad*, 22. Facultad de Ciencias Agrarias, UN de Rosario. 2 p.

Morales L, Castellón MDC, Ruiz E, Morales A, Maza N, Rodríguez D, Fuentes H. 1997. Monitoreo y bioecología de *Plutela xylostella* y su integración al Programa de Manejo Integrado en Cuba. Revista Peruana de Entomología, 40(1): 161-164.

Mota-Sanchez D, Wise JC. 2021. The Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University. [En línea]. Consultado el 21 de junio de 2021. Disponible en: <https://www.pesticideresistance.org/display.php?page=species&arId=571>

Navarro-Llopis V, Primo J, Vacas S. 2013. Efficacy of attract-and-kill devices for the control of *Ceratitis capitata*. Pest management science, 69(4): 478-482. DOI: 10.1002/ps.3393

Nofemela RS. 2010. The ability of synthetic sex pheromone traps to forecast *Plutella xylostella* infestations depends on survival of immature stages. Entomologia Experimentalis et Applicata, 136(3): 281-289. DOI: 10.1111/j.1570-7458.2010.01029.x

Nunes-Silva P, Rosa JM, Witter S, Schlemmer LM, Halinski R, Ramos JD, Arioli CJ, Blochtein B, Botton M. 2016. Visitantes florais e potenciais polinizadores da cultura da macieira. Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 184.

Núñez S, Scatoni I. 2013. Tecnología disponible para el manejo de plagas en frutales de hoja caduca. Serie Técnica INIA, n.º 210. Montevideo, Uruguay. 150 p.

Observatorio de Oleaginosos Uruguay. 2021. Zafra 2019-2020. [En línea]. Consultado el 15 de junio de 2021. Disponible en: <http://oleaginosos.org.uy/observatorio>

Oviedo R, Alfaro D, Gómez M, McDonald R, Oehischlager C, Saenz C. 1996. Uso potencial de la feromona de agregación para el monitoreo y trampeo masivo del picudo de caña de azúcar *Metamasius hemipterus sericeus* (Coleoptera: Curculionidae) en el cultivo comercial de la caña de azúcar en Costa Rica. Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. Congreso Nacional de Fitopatología. Congreso Nacional de Suelos. San José, Costa Rica. 340 p.

Poemape P, Francisco J. 2019. Dos densidades de trampas en monitoreo de *Pectinophora gossypiella* S. en algodón, valle Santa, 2017. Tesis Maestría. Chimbote. Perú. Facultad de Ingeniería. 57 p.

Portilla M, Morales-Ramos JA, Rojas MG, Blanco CA. 2014. Chapter 8 - Life tables as tools of evaluation and quality control for arthropod mass production, in: Morales-Ramos, J.A., Rojas, M.G., Shapiro-Ilan, D.I. (eds.), Mass Production of Beneficial Organisms. Academic Press, San Diego. 241–275. DOI: 10.1016/B978-0-12-391453-8.00008-X

Phillips TW, Cogan PM, Fadamiro HY. 2000. Pheromones. In alternatives to pesticides in stored-product IPM. Springer, Boston, MA. 273-302. DOI: 10.1007/978-1-4615-4353-4\_10

Price PW. 1976. Colonization of crops by arthropods: non-equilibrium communities in soybean fields. Environmental Entomology, 5: 605–611. DOI: 10.1093/ee/5.4.605

Ramzan M, Amin MU, Zahid MK, Nasir M, 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, F. Toxicology & Pest Control, 13: 45–51.  
DOI: 10.21608/eajbsf.2021.140822

Reddy GVP, Guerrero A. 2000. Pheromone-based integrated pest management to control the diamondback moth *Plutella xylostella* in cabbage fields. Pest Management Science: formerly Pesticide Science, 56 (10): 882-888. DOI: 10.1002/1526-4998(200010)56:10<882::AID-PS226>3.0.CO;2-T

Reddy GVP, Urs KCD. 1996. Studies on the sex pheromone of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) in India. Bulletin of entomological research, 86(5): 585-590. DOI: 10.1017/S0007485300039389

Ricalde MP, Nava DE, Loeck AE, Coutinho EF, Bisognin A, Garcia FRM. 2015. Insects related to olive culture in Rio Grande do Sul State, Brazil. Ciencia Rural, 45: 2125–2130. DOI: 10.1590/0103-8478cr20141477

Rieth JP, Levin MD. 1988. The repellent effect of two pyrethroid insecticides on the honey bee. Physiological Entomology, 13: 213–218. DOI: 10.1111/j.1365-3032.1988.tb00925.x

Ríos A, Fernández G, Collares L. 2005. Estudio de las comunidades de malezas asociadas a los sistemas de siembra directa en Uruguay. Seminario-Taller Iberoamericano de Resistencia a Herbicidas y Cultivos Transgénicos. 129-141.

Roff D. 1993. Evolution of life histories: Theory and analysis. Springer US. New York. 548 p.

- Romero P. 2013. El control de los insectos carpófagos del castaño (*Castanea sativa*) en Andalucía mediante captura masiva con feromona sexual y evaluación de la actividad insecticida de hongos entomopatógenos. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. 197 p.
- Ruffinelli A, Carbonell C. 1944. Primera lista sistemática de insectos relacionados con la agricultura nacional. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay. 16: 13-32.
- Ruscoe CNE. 1977. The new nrdc pyrethroids as agricultural insecticides. Pesticide Science, 8: 236–242. DOI: 10.1002/ps.2780080310
- Saeed R, Sayyed AH, Shad SA, Zaka SM. 2010. Effect of different host plants on the fitness of diamond-back moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Crop Protection 29, 178–182. DOI: 10.1016/j.cropro.2009.09.012
- Santos VC, De Siqueira HAA, Da Silva JE, De Farias MJDC. 2011. Insecticide resistance in populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), from the state of Pernambuco, Brazil. Neotropical Entomology, 40: 264-270. DOI: 10.1590/S1519-566X2011000200017
- Sarfraz M, Dosdall LM, Keddie BA. 2007. Resistance of Some Cultivated Brassicaceae to Infestations by *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Journal of Economic Entomology, 100: 215–224. DOI: 10.1093/jee/100.1.215
- Sarfraz M, Dosdall LM, Keddie BA. 2006. Diamondback moth–host plant interactions: implications for pest management. Crop Protection, 25(7): 625-639. DOI: 10.1016/j.cropro.2005.09.011

- Sarfraz M, Keddie AB, Dosdall LM. 2005. Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. *Biocontrol Science and Technology*, 15(8): 763-789. DOI: 10.1080/09583150500136956
- Schroeder PC, Shelton AM, Ferguson CS, Hoffmann MP, Petzoldt CH. 2000. Application of synthetic sex pheromone for management of diamondback moth, *Plutella xylostella*, in cabbage. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 94(3): 243-248. DOI: 10.1046/j.1570-7458.2000.00626.x
- Serrano C, Gil MJ, Alfaro F. 1998. Ensayo de eficacia de diferentes concentraciones de feromona en el control por confusión sexual de *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera, Pyralidae). *Boletín de sanidad vegetal-plagas*, 24(4): 841-848.
- Shakeel M, Farooq M, Nasim W, Akram W, Khan FZA, Jaleel W, Zhu X, Yin H, Li S, Fahad S, Hussain S, Chauhan BS, 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. DOI: 10.1007/s11356-017-8996-3
- Sharma A, Reddy GV. 2020. IPM and Pollinator Protection in Canola Production in the USA. In *Integrative Biological Control*, Vol 20: 165-176. DOI: 10.1007/978-3-030-44838-7\_10
- Shirai Y. 2000. Temperature tolerance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) in tropical and temperate regions of Asia. *Bulletin of Entomological Research*, 90: 357–364. DOI: 10.1017/S0007485300000481

- Smith TJ. 2003. The diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), (Lepidoptera: Plutellidae) and its biological control in the eastern cape province, South Africa. Tesis doctoral. Grahamstown, Sudáfrica. Faculty of Science, Zoology and Entomology. 256 p.
- Syed TS, Abro GH. 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.
- Tacain J, Parpal F, Abbate S, Silva H, Ribeiro A, Heguaburu V. 2016. Síntesis y evaluación a campo de la feromona sexual de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidóptera: Plutellidae) en canola (*Brassica napus* L.). *Agrociencia. Uruguay*, 20(2): 61-67.
- Talekar NS, Shelton AM. 1993. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annual review of entomology*, 38(1): 275-301. DOI: 10.1146/annurev.en.38.010193.001423
- Tamaki Y, Kawasaki K, Yamada H, Koshihara T, Osaki N, Ando T, Yoshida S, Kakinohana H. 1977. (Z)-11-hexadecenal and (Z)-11-hexadecenyl acetate: sex-pheromone components of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Applied Entomology and Zoology*, 12(2): 208-210. DOI: 10.1303/aez.12.208
- Teixeira NC, Santos NA, Maurício RM, Guedes RNC, Oliveira MGA, Campos WG. 2013. Cabbage seasonal leaf quality mediating the diamondback moth *Plutellaxylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) performance. *Neotropical Entomology*, 42(6): 545-551. DOI: 10.1007/s13744-013-0156-y

- Thomson DR, Gut LJ, Jenkins JW. 1999. Pheromones for insect control. *Biopesticides: Use and delivery*. Humana Press, Vol 5: 385-412. DOI: 10.1385/0-89603-515-8:385
- Tomm GO, Wiethölter S, Dalmago GA, Dos Santos HP. 2009. Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul. Passo Fundo. Embrapa Trigo. 39 p.
- Tripathi MK, Mishra AS. 2007. Glucosinolates in animal nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 132(1-2): 1-27. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2006.03.003
- USDA (U.S. Department of Agriculture). 2021. Oilseeds: World Markets and Trade. [En línea]. Consultado el 15 de junio de 2021. Disponible en: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>
- Vattanatangum A. 1990. Recent problem on chemical control of Thailand agricultural insect pests in relation to insecticide resistance of diamondback moth and other major species. *Insect Toxicological Studies on Resistance to Insecticides and Integrated Control of Diamondback Moth*. 8-13.
- Verkerk R, Krebbers B, Dekker M, Jongen WMF. 1997. Glucosinolates as contributing factors in the quality of Brassic vegetables: stress induced increase of indole glucosinolates. *Crop Prot. & Food Quality: Meeting Customer Needs*, Canterbury, Procs of the joint meeting org. by the British Crop Prot. Council and the Association Nationale de Protection des Plantes. 93-101.

- Wäckers FL, Romeis J, Van Rijn P. 2007. Nectar and pollen feeding by insect herbivores and implications for multitrophic interactions. *Annual Review of Entomology*, 52: 301–323. DOI: 10.1146/annurev.ento.52.110405.091352
- Wakisaka S, Tsukuda R, Nakasuji F. 1992. Effects of natural enemies, rainfall, temperature and host plants on survival and reproduction of the diamondback moth. Diamondback moth and other crucifer pests: proceedings of the Second International Workshop, Tainan, Taiwan. Asian Vegetable Research and Development Center. 15-26.
- Wang A, Zhang KX, Gao YL, Weng A, Wang L, Zhang Y, Zhang Z, She D, Ning J, Mei X. 2019. Synthesis and bioactivity studies of sex pheromone analogs of the diamond back moth, *Plutella xylostella*. *Pest Management Science*, 75(4): 1045-1055. DOI: 10.1002/ps.5214
- Wang XP, Le VT, Fang YL, Zhang ZN. 2004. Trap effect on the capture of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) with sex pheromone lures in cabbage fields in Vietnam. *Applied Entomology and Zoology*, 39(2): 303-309. DOI: 10.1303/aez.2004.303
- Weiss MJ, Knodel JJ, Olson D. 2015. Insect Pests of Canola. Radcliffe's IPM World Textbook. [En línea]. Consultado el 16 de junio de 2021. Disponible en: <https://ipmworld.umn.edu/weiss-canola-pests>
- Western Committee on Crop Pests. 2021. Guidelines for the control of insect pests [En línea]. Consultado el 21 de octubre de 2021. Disponible en: [https://www.westernforum.org/Documents/WCCP/WCCP\\_documents/WCCP\\_Guidelines/WCCP\\_20/Oilseeds-WCCP-2021-Final.pdf](https://www.westernforum.org/Documents/WCCP/WCCP_documents/WCCP_Guidelines/WCCP_20/Oilseeds-WCCP-2021-Final.pdf)

- Williams IH. 2010. The major insect pests of oilseed rape in Europe and their management: an overview. Biocontrol-based integrated management of oilseed rape pests. 1-43. DOI: 10.1007/978-90-481-3983-5\_1.
- Witzgall P, Kirsch P, Cork A. 2010. Sex pheromones and their impact on pest management. Journal of chemical ecology, 36(1): 80-100. DOI: 10.1007/s10886-009-9737-y
- Yang CY, Lee S, Choi KS, Jeon HY, Boo KS. 2007. Sex pheromone production and response in Korean populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 124(3): 293-298. DOI: 10.1111/j.1570-7458.2007.00580.x
- Yi CG, Hieu TT, Lee SH, Choi BR, Kwon M, Ahn YJ. 2016. Toxicity of *Lavandula angustifolia* oil constituents and spray formulations to insecticide-susceptible and pyrethroid-resistant *Plutella xylostella* and its endoparasitoid *Cotesia glomerata*. Pest management science, 72(6): 1202-1210. DOI: 10.1002/ps.4098
- Zilahi-Balogh GMG, Angerilli NPD, Borden JH, Meray M, Tulung M, Sembel D. 1995. Regional differences in pheromone responses of diamondback moth in Indonesia. International Journal of Pest Management, 41(4): 201-204. DOI: 10.1080/09670879509371949
- Zukalová H, Vašák J. 2002. The role and effects of glucosinolates of *Brassica* species-a review. Rostlinná výroba, 48(4): 175–180.

## 6. ANEXOS

### 6.1 DEVELOPMENT AND REPRODUCTIVE POTENTIAL OF *PLUTELLA XYLOSTELLA* (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) IN FIVE BRASSICACEAE HOSTS

Agustina Armand Pilón<sup>a</sup>, Horacio Silva H<sup>a</sup>, Silvana Abbate<sup>b</sup>, Óscar Bentancourt<sup>c</sup> y Viviana Heguaburu<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Protección Vegetal, EEMAC, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay; <sup>b</sup>PAAP, EEMAC, CENUR Litoral Norte, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay; <sup>c</sup>Biometría, Estadística and Computación, EEMAC, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay; <sup>d</sup>Departamento de Química del Litoral, CENUR Litoral Norte, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay

#### **Abstract**

In Uruguay, *Plutella xylostella* (L.) is one of the main pests in rapeseed (*Brassica napus*). However, information regarding its biology on alternative hosts is scarce. The main objective was to study the development, biology and demographic parameters of *P. xylostella*, fed with different brassicaceae. With laboratory conditions such as temperature ( $23 \pm 2$  °C), humidity (60 %) and photoperiod (14:10), *P. xylostella*, larvae were bred from larva 1 to adult. The larvae were fed with rapeseed (*Brassica napus*), Ethiopian rape (*Brassica carinata*), cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*), turnipweed (*Rapistrum rugosum*) and radish (*Raphanus raphanistrum*). The development time of immature stages was longer in cabbage ( $19.19 \pm 0.43$ d.) and shorter in radish ( $15.44 \pm 0.37$ d.). In turnipweed, the highest survival of individuals that reached the adult stage was achieved. Of these adults, the highest value of oviposited eggs was recorded in turnipweed ( $300.82 \pm 24$ ), but the highest fecundity was in radish (79.7 %). The highest values of net reproductive rate, intrinsic rate of increase and finite rate of growth, were obtained with turnipweed. *P. xylostella* manages to complete the cycle until obtaining imagos, in any of the five hosts and leaving viable offspring. Turnipweed would be the most suitable host to quickly obtain a population in the laboratory.

**Keywords:** host, survival, oviposition, *Plutella xylostella*, brassicaceae.

---

\*Artículo presentado para ser publicado en *International Journal of Pest Management*.

## 1. Introduction

*Plutella xylostella* (L.) belongs to the Plutellidae family. This cosmopolitan species is one of the lepidopterans with the greatest worldwide distribution. It is one of the main pests of Brassicaceae crops (Meyrick, 1928; Talekar and Shelton, 1993). It has complete metamorphosis, passing through four stages of development (egg, larva, pupa and adult), with a total duration of 19-28 days depending on the temperature (Bentancourt and Scatoni, 2010). It causes damage by feeding on developing leaves, buds, flowers, pods, stems and seeds (Bentancourt and Scatoni, 2010). In Uruguay *P. xylostella* damage is one of the limitations for the development of the rapeseed crop *Brassica napus* (L.) (Mazzilli et al., 2014). *P. xylostella* is capable of affecting both cultivated and wild plants of Brassicaceae, making its control difficult, since while the crop of interest is sown or very small, it can develop in wild plants and then enter the crop (Talekar and Shelton, 1993).

The characteristics of the host plant and the temperature are among the most important factors in the development and reproduction of these insects (Wakisaka et al., 1992; Haseeb et al., 2001). Under controlled laboratory conditions, development is mainly influenced by temperature, while growth, body composition, and reproduction are mainly affected by nutrition (Clissold and Simpson, 2015). The food quality is determined by some of the components of the host plant such as carbon, nitrogen and secondary metabolites, which directly affect the fertility of herbivorous insects (Awmack and Leather, 2002). Several authors have reported for other pests and their hosts that the food received by the insect in its early stages affects their development and reproduction (Tsai and Wang, 2001; Kim and Lee, 2002; Liu et al., 2004). The insects respond to changes in the quality of the food, generating variants in their reproduction strategies, such as the size and quality of the eggs, the allocation of resources for those eggs and the choice of the oviposition site. Changes in food quality not only affect the individual, but also the whole population, due to interspecific and intraspecific interactions, since insects themselves can change the quality of that food (Awmack and Leather, 2002).

The quality of the host affects the development of insects, but in order to determine the most suitable host for a species, other factors must be taken into account, such as larval growth, mortality, fertility and survival of those that reach the adult phase (Liu et al., 2004). Therefore, it is not only important to know in which host it can develop best, but also to know the demographic

parameters, which measure characteristics of the population. Addressing this issue allows a greater knowledge of the dynamics of the species (Kingsolver and Huey, 2008). Among these demographic parameters, the most useful are: net reproductive rate ( $R_0$ ), generation time ( $T$ ), intrinsic rate of increase ( $r_m$ ), finite growth rate ( $\lambda$ ) and doubling time (DT) (Krebs, 2014).

In the case of *P. xylostella*, there are several studies that describe the nutritional quality of the host plant (Kianpour et al., 2014; Steinbach et al., 2017; Saeed et al., 2019) as well as the population variations according to the geographic location (Wakisaka et al., 1992; Shirai, 2000; Ramzan et al., 2021), but few of them show life tables and demographic parameters for the region, to provide tools for the agronomic management of this pest.

The objective of this work is to study the development, mortality, and reproductive and demographic parameters of *P. xylostella* in five species of host plants belonging to the Brassicaceae family. The host plant species were three cultivated annuals: rapeseed (*B. napus*), Ethiopian rape (*Brassica carinata*), cabbage (*Brassica oleracea var. capitata*), and the remaining two were weeds: turnipweed (*Rapistrum rugosum*) and radish (*Raphanus raphanistrum*).

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Rearing *Plutella xylostella* under Laboratory Conditions**

The breeding of *P. xylostella* was carried out in the Entomology laboratory of the Experimental Station "Dr. Mario A. Cassinoni" (Paysandú-Uruguay), adapting the breeding method of Marchioro and Foester (2011). Adults were collected from commercial crops of *Brassica napus* and *Brassica carinata*, as well as in weeds of the Brassicaceae family. Once collected, they were taken to the laboratory under controlled conditions of temperature ( $23 \pm 2$  ° C), humidity (60 %) and photoperiod (14:10). They were arranged together in groups of 3 or 4 individuals (since sexing is not certain at that stage) in plastic containers 3.5 cm high and 8 cm in diameter, covering the upper part with a glass lid. Absorbent paper and a piece of rapeseed or cabbage were placed at the bottom of the container to stimulate oviposition and for the females to deposit their eggs there. These adults were fed with a plastic cap with cotton soaked in water and honey. The eggs obtained from each pair were placed in plastic containers covered with plastic wrap, where holes were made for

ventilation; once the larvae emerged, they were fed rapeseed or cabbage leaves. Once larva stage 4 had been reached, they were sexed. The males were identified by a yellowish coloration in the fifth abdominal segment (Liu and Tabashnik, 1997), where the gonads are located. When the larvae turned to pupa, they were placed individually in glass tubes 5 cm long and 1 cm in diameter, with a cotton cap until the adult emerged, in order to form pairs again and continue with the breeding.

## **2.2. Development and Survival**

Once the adults from the brood emerged, they were placed in pairs (one female and one male per container). The eggs obtained by each pair were duly identified and kept under controlled conditions until the larvae were obtained. The larvae were randomly arranged in plastic petri dishes of 5 cm diameter and 1.3 cm height, with absorbent paper at the bottom, cotton soaked in water and a portion of the leaf of one of the five evaluated vegetables: *B. napus* (rapeseed), *B. carinata* (Ethiopian rape), *Brassica oleracea var. capitata* (cabbage), *Rapistrum rugosum* (turnipweed) and *Raphanus raphanistrum* (radish). The plant species were obtained from experimental plots of the Experimental Station "Dr. Mario A. Cassinoni". Rivette variety of rapeseed and Avanza 641 variety of Ethiopian rape were used, while the weeds used as food were collected from the edges of the experimental area. From the aforementioned plant species, fresh leaves were collected from the middle zone of the plant, during its flowering stage, and did not receive insecticide application. In the case of cabbage, it was obtained from commercial producers, and was properly washed before its use.

For each food evaluated, 50 larvae in the L1 state were used, which were kept in a rearing chamber with controlled conditions: temperature ( $23 \pm 2$  °C), humidity (60 %) and photoperiod (14:10), in the Phytopathology Laboratory of the Experimental Station "Dr. Mario A. Cassinoni". Of the 250 L1 larvae selected for the test, the date on which they changed stage and state (larva, prepupa, pupa and adult) and the day they died were recorded. Once the larvae reached larva stage 4, they were identified by sex to later form pairs between individuals fed with the same plant species.

## **2.3. Demographic Parameters**

Once the adult stage was reached, males and females obtained with a certain food were arranged in pairs. The eggs obtained from each pair were

extracted and placed in plastic petri dishes of 5 cm in diameter and 1.3 cm in height. They were kept in the brood chamber until the larvae emerged. With the values obtained for each food, life tables were made adopting the methodology used by Portilla et al. (2014). The demographic parameters obtained through the life tables were: net reproductive rate ( $R_0$ ), generation time ( $T$ ), intrinsic rate of increase ( $r_m$ ), finite growth rate ( $\lambda$ ) and doubling time (DT). As a summary of the collected data, the quantity of eggs oviposited, emerged and percentage of fecundity, as well as the longevity of the females according to the species of brassicaceae host, were also calculated.

#### **2.4. Statistical Analysis**

For the analysis of development time (mean  $\pm$  SE), oviposited and emerged eggs (mean  $\pm$  SE), fertility (%) and female longevity (days), a generalized linear model was fitted assuming that the response variable has a Gamma distribution. Means were compared using Tukey's test with a significance level of 5 %. Glimmix procedure of the statistical package SAS On Demand for Academics version 9.04 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2018) was used. For the survival analysis of all individuals, a generalized linear model with Gamma distribution was fitted, and for the survival analysis of the larval and adult stages, an exponential survival model was fitted with a censoring indicator (1 indicates that the individual is dead at that time and 0 that he was alive when last seen). From these models, the Kaplan-Meier survival curves were obtained. In addition, treatments were compared through 95 % confidence intervals, using Crawley's methodology (2012) in the statistical software R.

### **3. Results**

#### **3.1. Development and Survival**

The average development time of the different stages of *P. xylostella* from first instar to adult varied according to the host plant with which they were fed (Table 1). The greatest differences occurred in third instar, fourth instar larvae and prepupa. This periods were shorter in turnipweed versus cabbage, where it takes a couple of days to complete these stages of the development cycle. When observing the period between first instar larvae and pupa, cabbage differed significantly from the rest of the treatments, having the longest time

to complete the immature development. However, once it reaches the adult stage, no significant differences are recorded, due to the high variability in days of life of individuals reaching adults within each host.

Table 1. Average development time (days  $\pm$  SE) of *Plutella xylostella* for the five species of Brassicaceae hosts.

Development stage	Host plant				
	<i>B. napus</i>	<i>B. carinata</i>	<i>R. rugosum</i>	<i>R. raphanistrum</i>	<i>B. oleracea</i>
Larva 1	3.07 $\pm$ 0.24ab	2.69 $\pm$ 0.21b	3.20 $\pm$ 0.20ab	3.11 $\pm$ 0.24ab	3.7 $\pm$ 0.27a
Larva 2	2.69 $\pm$ 0.19ab	2.57 $\pm$ 0.18ab	2.1 $\pm$ 0.12b	2.25 $\pm$ 0.16ab	2.73 $\pm$ 0.18a
Larva 3	2.38 $\pm$ 0.17ab	2.53 $\pm$ 0.18ab	1.8 $\pm$ 0.10c	2.03 $\pm$ 0.14bc	2.7 $\pm$ 0.18a
Larva 4	1.26 $\pm$ 0.10d	2.36 $\pm$ 0.19b	1.87 $\pm$ 0.12bc	1.62 $\pm$ 0.12cd	3.70 $\pm$ 0.27a
Prepupa	1.34 $\pm$ 0.10c	1.92 $\pm$ 0.15ab	1.55 $\pm$ 0.10bc	1.51 $\pm$ 0.11bc	2.2 $\pm$ 0.16a
Pupa	5.00 $\pm$ 0.27ab	4.34 $\pm$ 0.23ab	5.00 $\pm$ 0.22a	4.88 $\pm$ 0.26ab	4.10 $\pm$ 0.20b
Larva 1_Pupa	15.66 $\pm$ 0.34b	16.42 $\pm$ 0.40b	15.57 $\pm$ 0.30b	15.44 $\pm$ 0.37b	19.19 $\pm$ 0.43a
Adult	18.76 $\pm$ 1.96a	22.73 $\pm$ 2.38a	20.32 $\pm$ 1.71a	19.00 $\pm$ 1.95a	20.13 $\pm$ 1.96a

Means with a common letter in the rows are not significantly different ( $p > 0.05$ ; Tukey).

Regarding the survival analysis, the results showed that all individuals were dead after 67 days. Figure 1 shows the overall survival curve for all individuals with confidence intervals.

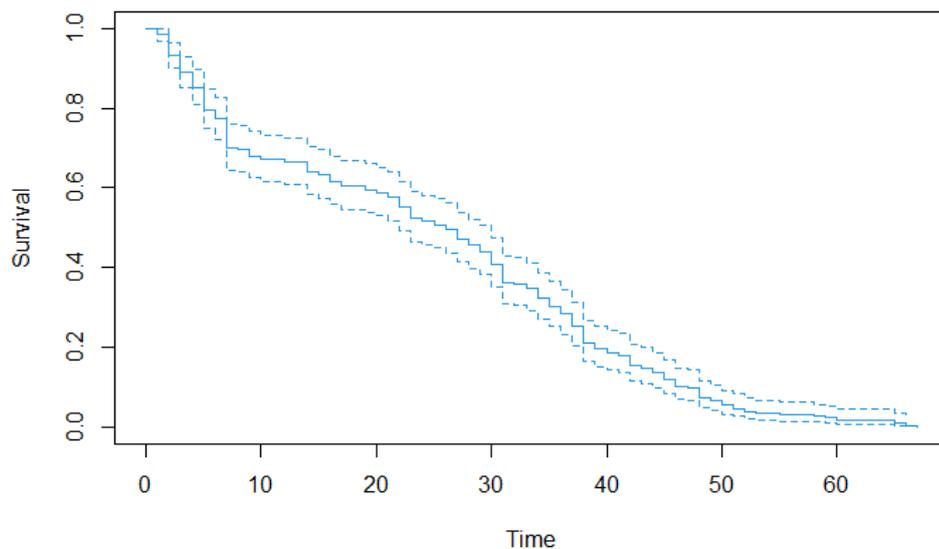


Figure 1. Survival of individuals as a function of time in days they lived.

Once the general survival curve was obtained, the proportion of individuals surviving according to the treatment evaluated was plotted in figure 2, in order to see if there were differences between treatments.

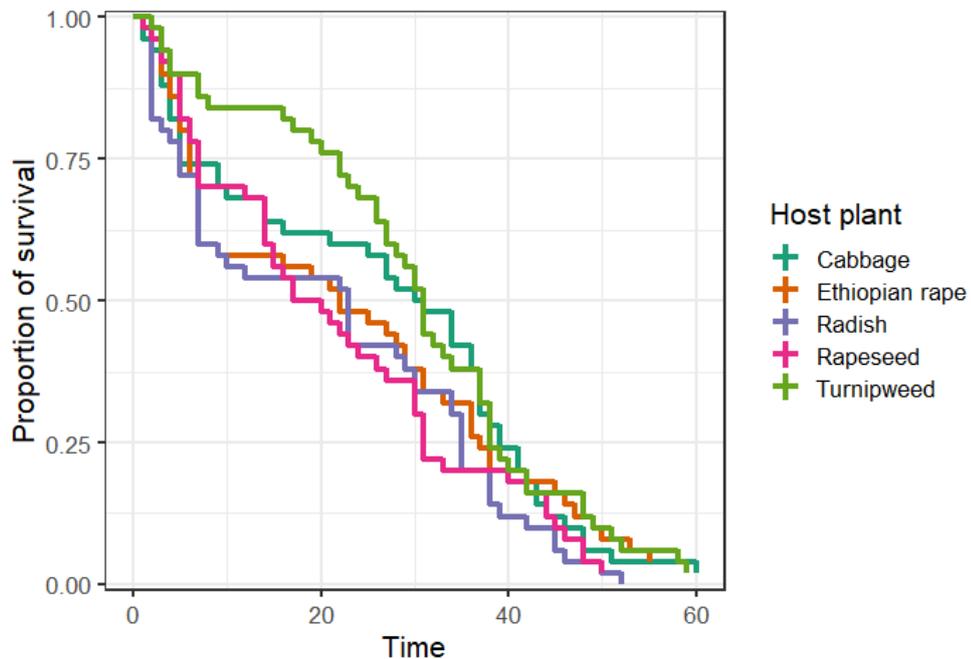


Figure 2. Proportion of survivors as a function of time in days, for each of the foods evaluated.

Taking into account the mean of the age of death of individuals per food, the lowest record was 18 days in rapeseed compared to 31 days in turnipweed. In addition, according to the confidence intervals of the foods, no differences were recorded between treatments. However, significant interactions between developmental stage and food were detected. According to the interaction, significant differences were detected between radish ( $p = 0.0291$ ), and significant differences were detected in all development stages.

Figures 3 and 4 illustrate the difference between foods according to development stage in greater detail. Figure 3 shows the proportion of survivors for the larval stage and figure 4 shows the data for the adult stage. In this way, it can be observed what happens in the feeding period of the individuals and in the adult state, in order to know how many of these individuals manage to complete the development and pass to the reproductive stage.

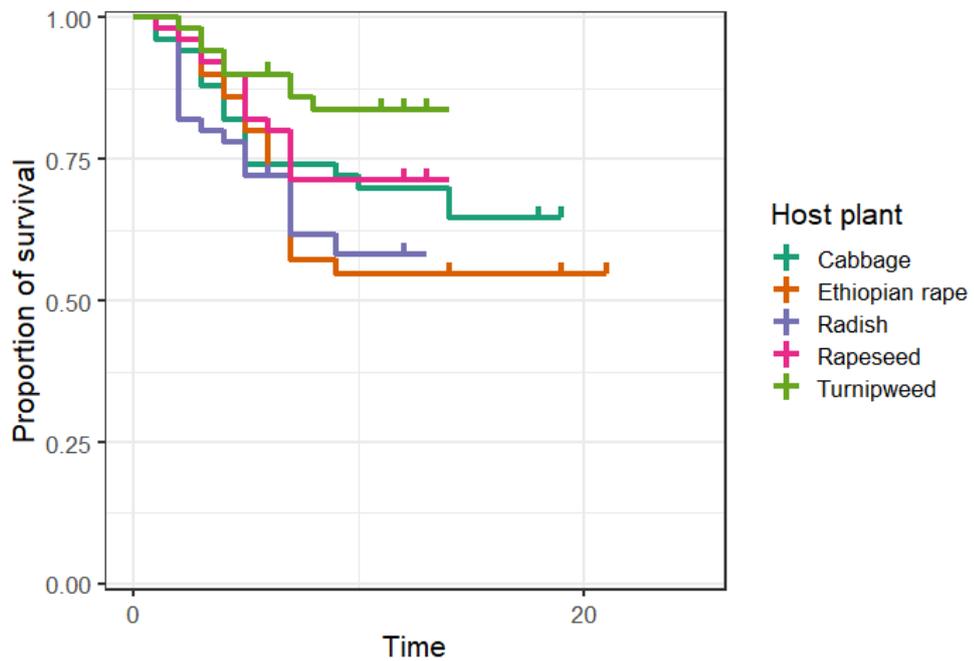


Figure 3. Proportion of survivors as a function of time in days, according to the food evaluated, for the larval stage.

It was possible to observe that the survival curves are different, particularly turnipweed, which was the food that differed significantly from the rest ( $p = 0.023$ ). In figure 3 the censored individuals are shown with crosses, representing those individuals that do not die in the evaluated period. Of the uncensored individuals, corresponding to the dead, the mean of the death age was 5.36, 4.78, 4.75, 4.15, and 4.87 for Ethiopian rape, rapeseed, turnipweed, radish, and cabbage, respectively.

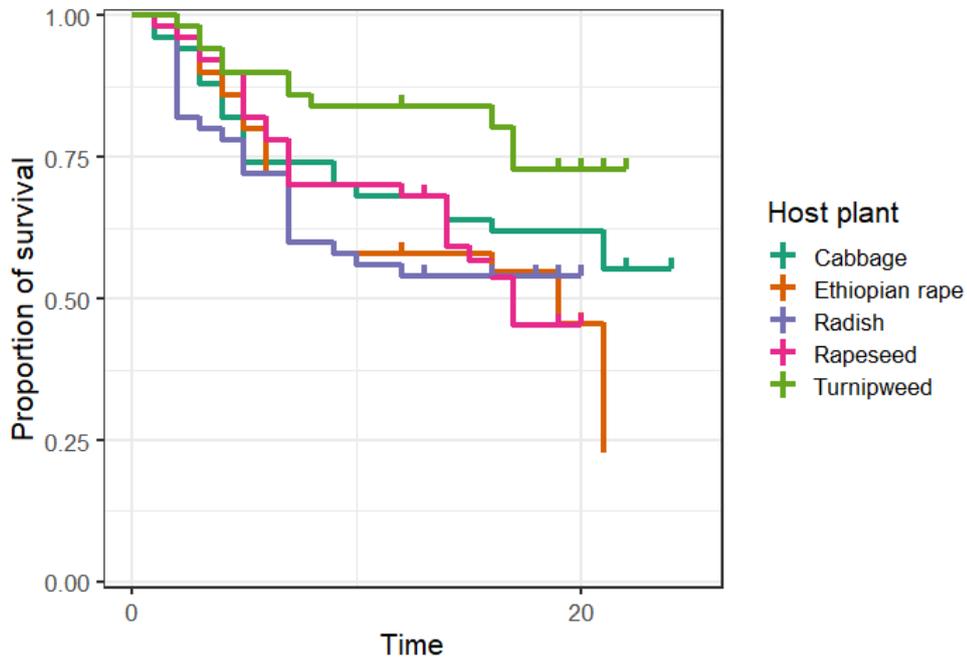


Figure 4. Proportion of survivors as a function of time in days, according to the evaluated food, until the adult state.

As for the larval stage, turnipweed differed significantly from the rest of the foods in the proportion of survivors ( $p = 0.0075$ ) for the adult stage (Figure 4).

### 3.2. Demographic parameters

The number of fertile females obtained was different according to the host plant (Table 2). The ratio of females and males was 1:2. This is why, although in the case of turnipweed more individuals were obtained at the adult stage, this was not reflected in the number of fertile females. However, the number of oviposited eggs was higher in turnipweed and cabbage, obtaining practically all the eggs in the trial. The same response was observed in the fertility percentage of these eggs. Regarding the longevity of females, no significant differences were observed according to the host plant used.

Table 2. Number of females, eggs oviposited and emerged (mean  $\pm$  SE), fecundity (%) and longevity of females (days  $\pm$  SE), for the five species of brassicaceae hosts.

	Host plant				
	<i>B. napus</i>	<i>B. carinata</i>	<i>R. rugosum</i>	<i>R. raphanistrum</i>	<i>B. oleracea</i>
n	11	9	11	7	14
Oviposited	219.82 $\pm$ 24ab	222.11 $\pm$ 27ab	300.82 $\pm$ 24a	217.29 $\pm$ 31ab	143.93 $\pm$ 22b
Emerged	148.09 $\pm$ 18a	135.78 $\pm$ 20ab	212.36 $\pm$ 18a	171 $\pm$ 22a	68.15 $\pm$ 16b
Fertility (%)	68.43 $\pm$ 5.5a	60.23 $\pm$ 6.12ab	71.53 $\pm$ 5.53a	79.7 $\pm$ 6.94a	43.63 $\pm$ 4.91b
Longevity females (days)	16 $\pm$ 2.32a	19 $\pm$ 2.56a	17.3 $\pm$ 2.32a	13.3 $\pm$ 2.9a	17.57 $\pm$ 2.05a

Means with a common letter in the rows are not significantly different ( $p > 0.05$ ; Tukey).

Life tables per host plant, show the demographic parameters obtained per host plant.

Table 3. Demographic parameters of the population of *P. xylostella* for the five species of brassicaceae hosts.

Demographic parameters	Host plant				
	<i>B. napus</i>	<i>B. carinata</i>	<i>R. rugosum</i>	<i>R. raphanistrum</i>	<i>B. oleracea</i>
$R_o$	48.36	39.3	66.18	30.42	40.3
T	22.311	24.572	22.442	20.044	27.182
$r_m$	0.174	0.149	0.187	0.170	0.136
$\lambda$	1.190	1.161	1.205	1.186	1.146
DT	3.987	4.639	3.711	4.068	5.097

Turnipweed had the highest net reproduction rate ( $R_o$ ) and the highest  $r_m$  (Table 3). These results agree with those shown in Table 2, where turnipweed was the host in which more oviposited eggs were obtained. In terms of generation time, or time it takes to complete a generation, the highest value was shown by cabbage, followed by Ethiopian rape, and with minimal differences between rape, turnipweed and radish. For the finite development rate ( $\lambda$ ) there was not a marked difference between hosts; the most contrasting ones were turnipweed and cabbage; while for the doubling time (DT), the highest value was for cabbage and the lowest, turnipweed, the latter being the fastest doubling of the population.

#### 4. Discussion

In the development of *P. xylostella*, differences were found between host plants starting from first instar larvae, which was when they began to be fed with the different species of brassicaceae. These differences were also reported by other authors in their works (Syed and Abro, 2003; Golizadeh et al., 2009; Saeed et al., 2010), evaluating different brassicaceae as hosts. It was found that the development stages with more differences between the hosts, were in larvae 3, 4 and prepupa, where the shortest time occurred in turnipweed, while the longest times occurred in cabbage.

These results may be due to the fact that cabbage was the only food that was not supplied fresh or directly from the plant. Although all the larvae received a piece of plant, they vary their nutritional quality due to environmental factors (Awmack and Leather, 2002) and this affects the development and reproduction of insects (Björkman, 2000; De Bruyn et al., 2002). Supplying a piece of plant and not the whole plant may have altered the concentration of secondary metabolites of the different species. Brassicaceae is one of the families that has a large number of secondary metabolites, some of which are involved in defense against insects (Zrybko et al., 1997; Fahey and Stephenson, 1999). One of these secondary metabolites is glucosinolate, which increases its concentration and its composition can be altered when the plant is attacked (Bruce and Pickett, 2007). In addition, there are a large number of species in the Brassicaceae family, and the concentration of these glucosinolates varies among them (Malik et al., 2010).

Despite the fact that turnipweed showed the shortest development time in larva 3, 4 and prepupa stages, when the immature stage time (larva 1 to pupa) of the five host plants was evaluated, the longest development time was registered in cabbage, while there were no differences between the four remaining species. In addition, in the adult stage there were no significant differences, as well as when females that are parents of the new generation are evaluated. However, in other studies under laboratory conditions, the results are contrasting, since cabbage is the one with the shortest development time, even shorter than rapeseed (Syed and Abro, 2003; Golizadeh et al., 2009).

At the time of feeding the insects, a series of processes are unleashed within the plant, including defense with glucosinolates being responsible of mediating this process (Zukalová and Vašák, 2002). Although in this case it is a piece of plant, some authors found that when the plants were damaged, the

concentration of various glucosinolates increased in the plants (Koritsas et al., 1991). This is why survival could be affected, since it depends on the presence of nutritional and phagocytic factors, as well as secondary metabolites (Awmack and Leather, 2002; Syed and Abro, 2003; Sarfraz et al., 2007), in this case, glucosinolates. Teixeira et al. (2013) support the idea that annual or short-lived crops, when grown in different seasons of the year, have different nutritional and defensive attributes.

Marchioro and Foerster (2014) found differences between cultivated and wild plants as food for larvae, in terms of the survival of individuals, reporting that wild plants had better results than cultivated ones. Regarding the low survival in the first larval stages, it was also registered by Golizadeh et al. (2009) when the host is rapeseed. Also considering what was mentioned by Sarfraz et al. (2006), the morphological traits of plants can affect the development and survival of *P. xylostella*. This is why Eigenbrode et al. (1990) mention that, for *P. xylostella* larvae, the type and quantity of epicuticular waxes are important, since they observed that the larvae spent a lot of time searching and moving. This behavior translated into lower larval survival in the work of Marchioro and Foerster (2014), as occurred in our work. In addition, Holloway et al. (1977), in their study of waxes in rapeseed species found differences, as well as in other species of the Brassicaceae family, which may be part of the explanation of the results obtained.

Mortality is one of the most relevant factors to determine the suitability of the host (Liu et al., 2004), as well as the development time. Those hosts in which the insect cycle is fulfilled in less time and presents the highest oviposition are considered the most favorable (Van Lenteren & Noldus, 1990). Turnipweed was the species that met the aforementioned characteristics, since it presented the shortest development time, low mortality of individuals and high oviposition when it was evaluated in laboratory conditions against four other species of Brassicaceae. This low mortality of individuals leads to the formation of several couples, allowing to obtain a high number of eggs (oviposition). Despite this fact, the host with the highest fertility percentage was radish with 79.7 %, radish being one of the two weed species evaluated.

The demographic parameters help to compare populations, according to their food source, and it is also possible to know the characteristics of the parents of future generations. Therefore, the intrinsic rate of increase ( $r_m$ ) is considered the most relevant parameter to describe the characteristics of a population in a host (Varley and Gradwell, 1970; Portilla et al., 2014). This

parameter gathers several characteristics of the population, since they can vary according to many factors. There is a close and positive relationship between the qualities of these hosts when they are considered suitable and the intrinsic rates of population increase (Saeed et al., 2010). The rate of increase is formed by other characteristics of the population, such as oviposition, fertility and growth of individuals to adults (Sayyed et al., 2008). Therefore, if those values vary, the rate of increase is also modified. It was seen that the host with the highest net reproduction rate is turnipweed, and the rate of the radish is less than half, while the crops (rape, Ethiopian rape and cabbage) have similar values.

The generation time (T), or the time it takes to complete a generation, finds its lowest values in radish, being separated from rapeseed and turnipweed only by two days. The shorter this time, the more generations may develop in the crop period, despite the fact that these are laboratory data, where there are controlled conditions. This leads to the fact that for a field crop, as the case of rapeseed whose cycle is approximately 150 days, *P. xylostella* could develop up to 6.7 generations. In other regions of the world, these values are variable, depending mainly on temperature. Examples are found in Ontario, with 4 to 5 generations per year (Harcourt, 1986), and in Pakistan, where the growing season of the crop is longer, up to 12 to 14 generations (Saeed et al., 2010). When observing the doubling rate (DT), the extreme values were for cabbage and turnipweed, with the last one doubling its population in almost half the time than the cabbage. The work of Kahuthia-Gathu et al. (2008) found that the values of the demographic parameters for wild species were significantly better than for cultivated species. These authors associated this behavior to the coevolution of *P. xylostella* with these species.

## 5. Conclusions

*P. xylostella* is capable of developing in any of the five hosts, despite the differences between the demographic parameters of each one. It was found that the most suitable host for the development and reproduction of *P. xylostella* is turnipweed, to quickly obtain a population in the laboratory. However, it is noteworthy that by developing in all the hosts, the offspring could be maintained in laboratory conditions throughout the year, since in cabbage it also manages to survive. Also, depending from which point of view one evaluates the suitability of a host, there are many options. In this case, as there is no national background in this regard, this work provides information

and helps us to learn more about the pest when thinking about some type of management. Although it is a laboratory study, it gives guidelines of what could happen in the field. Therefore, the information that *P. xylostella* is capable of surviving in the weeds that surround or are within the crop of economic interest could have implications in its management. For example, before sowing a crop of rapeseed, Ethiopian rape or cabbage, according to the production system, special care must be taken beyond the sowing place, since if there are weeds of the brassicaceae family, *P. xylostella* could be found developing there and would be a potential source of the pest from the early stages of the growing cycle. In addition, within crops there are also differences, as are observed between rapeseed and Ethiopian rape, where the  $m_R$  of rapeseed is higher. Therefore, it is expected that in the field *P. xylostella* would prefer rapeseed to develop, being this more affected by the pest than Ethiopian rape. It would be interesting to continue making more observations of the behavior of this species and its hosts, taking these tests to experiments in a first step to semi-field tests, to observe in more detail the interspecific and intraspecific interactions, for example, through the release plant volatiles. The study of interspecific interactions between the pest and its host, the pest and its natural enemies or tritrophic interaction, which are very common but remain unknown, through the use of potted plants and not pieces of them as in this work, would be very valuable.

### **Funding details**

This work was supported by Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) under Grant POS\_NAC\_2017\_1\_141443 and Dirección Nacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (DINACYT) under Grant Fondo Vaz Ferreira FVF 15.

### **Disclosure statement**

The authors report there are no competing interests to declare.

### **Data availability statement**

The authors confirm that the data supporting the findings of this study are available within the article.

## References

- Awmack CS, Leather SR. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology* 47, 817–844.
- Bentancourt CM, Scatoni IB. 2010. Guía de insectos y ácaros de importancia agrícola y forestal en el Uruguay. Montevideo, Uruguay. 582p.
- Björkman C. 2000. Interactive Effects of host resistance and drought stress on the performance of a gall-making aphid living on Norway spruce. *Oecologia* 123, 223–231.
- Bruce TJ, Pickett JA. 2007. Plant defence signalling induced by biotic attacks. *Current Opinion in Plant Biology, Special Issue on Biotic Interactions* 10, 387–392.
- Clissold FJ, Simpson SJ. 2015. Temperature, food quality and life history traits of herbivorous insects. *Current Opinion in Insect Science, Global change biology. Molecular physiology* 11, 63–70.
- Crawley MJ. 2012. *The R Book*. John Wiley & Sons. Imperial College London at Silwood Park. United Kingdom. 869-892.
- De Bruyn L, Scheirs J, Verhagen R. 2002. Nutrient stress, host plant quality and herbivore performance of a leaf-mining fly on grass. *Oecologia* 130, 594–599.
- Eigenbrode SD, Shelton AM, Dickson MH. 1990. Two types of resistance to the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in cabbage. *Environmental Entomology*, 19, 1086–1090.
- Fahey JW, Stephenson KK. 1999. Cancer chemoprotective effects of cruciferous vegetables. *HortScience* 34, 1159–1163.
- Golizadeh A, Kamali K, Fathipour Y, Abbasipour H. 2009. Life table of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) on five cultivated brassicaceous host plants. *J. Agric. Sci. Technol.* 11, 115-124.
- Holloway PJ, Brown GA, Baker EA, Macey MJK. 1977. Chemical composition and ultrastructure of the epicuticular wax in three lines of *Brassica napus* (L). *Chemistry and Physics of Lipids*, 19, 114–127.
- Harcourt DG. 1986. Population dynamics of the diamondback moth in southern Ontario. *International Workshop on Diamondback Moth Management*, 1<sup>st</sup>. pp. 3-15.
- Haseeb M, Kobori Y, Amano H, Nemoto H. 2001. Population density of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) on two varieties of cabbage in an urban environment. *Applied Entomology and Zoology* 36, 353–360.
- Kahuthia-Gathu R, Löhr B, Poehling HM. 2008. Development and reproductive potential of diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)

- on cultivated and wild crucifer species in Kenya. *JTI* 28, 19.
- Kianpour R, Fathipour Y, Karimzadeh J, Hosseininaveh V. 2014. Influence of different host plant cultivars on nutritional indices of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Crop Protection* 3, 43–49.
- Kim DS, Lee JH. 2002. Egg and larval survivorship of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) in apple and peach and their effects on adult population dynamics in orchards. *Environmental Entomology* 31, 686–692.
- Kingsolver JG, Huey RB. 2008. Size, temperature, and fitness: three rules. *Evol. Ecol. Res.* 10, 251–268.
- Koritsas VM, Lewis JA, Fenwick GR. 1991. Glucosinolate responses of oilseed rape, mustard and kale to mechanical wounding and infestation by cabbage stem flea beetle (*Psylliodes chrysocephala*). *Annals of Applied Biology* 118, 209–221.
- Krebs CJ. 2014. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*, 6. ed., Pearson, Harlow. 646p.
- Liu YB, Tabashnik B. 1997. Visual determination of sex of diamondback moth larvae. *Can. Entomol.* 129, 585–586.
- Liu Z, Li D, Gong P, Wu K. 2004. Life table studies of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on different host Plants. *Environmental Entomology* 33, 1570–1576.
- Malik MS, Riley MB, Norsworthy JK, Bridges W. 2010. Glucosinolate profile variation of growth stages of wild radish (*Raphanus raphanistrum*). *J. Agric. Food Chem.* 58, 3309–3315.
- Marchioro CA, Foerster LA. 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. *Neotrop. Entomol.* 40, 533–541.
- Marchioro CA, Foerster LA. 2014. Preference–performance linkage in the diamondback moth, *Plutella xylostella*, and implications for its management. *Journal of Insect Science.* 14(1): 85.
- Mazzilli SR, Elizarrú A, Locatelli A. 2014. Desarrollo tecnológico de la colza en Uruguay. 1° Simposio Latino Americano de Canola, Passo Fundo, RS, Brasil, 5p.
- Meyrick E. 1928. *A Revised Handbook of British Lepidoptera*. A Revised Handbook of British Lepidoptera. 803p.
- Portilla M, Morales-Ramos JA, Rojas MG, Blanco CA. 2014. Chapter 8 - Life tables as tools of evaluation and quality control for arthropod mass production, in: Morales-Ramos, J.A., Rojas, M.G., Shapiro-Ilan, D.I. (Eds.), *Mass Production of Beneficial Organisms*. Academic Press, San Diego, pp. 241–275.

- Ramzan M, Amin MU, Zahid MK, Nasir M, 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, F. Toxicology & Pest Control 13, 45–51.
- Saeed R, Sayyed AH, Shad SA, Zaka SM. 2010. Effect of different host plants on the fitness of diamond-back moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Crop Protection 29, 178–182.
- Saeed S, Jaleel W, Naqqash MN, Saeed Q, Zaka SM, Sarwar ZM, Ishtiaq M, Qayyum MA, Sial MU, Qurat-Ul-Aine, Batool M, Khan KA, Ghramh HA, Hafeez M, Ansari MJ, Sharma GK. 2019. Fitness parameters of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera; Plutellidae) at four constant temperatures by using age-stage, two-sex life tables. Saudi Journal of Biological Sciences 26, 1661–1667.
- Sarfraz M, Dossall LM, Keddie BA. 2007. Resistance of some cultivated Brassicaceae to infestations by *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Journal of Economic Entomology 100, 215–224.
- Sarfraz M, Dossall LM, Keddie BA. 2006. Diamondback moth–host plant interactions: implications for pest management. Crop Protection, 25(7): 625–639. DOI: 10.1016/j.cropro.2005.09.011
- Sayyed AH, Ahmad M, Crickmore N. 2008. Fitness costs limit the development of resistance to indoxacarb and deltamethrin in *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Economic Entomology 101, 1927–1933.
- Shirai Y. 2000. Temperature tolerance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) in tropical and temperate regions of Asia. Bulletin of Entomological Research 90, 357–364.
- Steinbach D, Moritz G, Nauen R. 2017. Fitness costs and life table parameters of highly insecticide-resistant strains of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) at different temperatures. Pest Management Science 73, 1789–1797.
- Syed TS, Abro GH. 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 NS, Shelton AM. 1993. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. Annual Review of Entomology 38, 275–301.
- Teixeira NC, Santos NA, Maurício RM, Guedes RNC, Oliveira MGA, Campos WG. 2013. Cabbage seasonal leaf quality mediating the diamondback moth *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) performance. Neotropical entomology, 42(6), 545–551.
- Tsai JH, Wang JJ. 2001. Effects of host plants on biology and life table parameters of *Aphis spiraecola* (Homoptera: Aphididae). Environmental

- Entomology 30, 44–50.
- Van Lenteren JC, Noldus L.PJJ 1990. Whitefly-plant relationships: behavioural and ecological aspects. In *Whiteflies: their bionomics, pest status and management*. 47-49
- Varley GC, Gradwell GR. 1970. Recent advances in insect population dynamics. *Annual Review of Entomology* 15, 1–24.
- Wakisaka S, Tsukuda R, Nakasuji F. 1992. Effects of natural enemies, rainfall, temperature and host plants on survival and reproduction of the diamondback moth. *Diamondback moth and other crucifer pests: proceedings of the Second International Workshop, Tainan, Taiwan*, 10-14.
- Zrybko CL, Fukuda EK, Rosen RT. 1997. Determination of glucosinolates in domestic and wild mustard by high-performance liquid chromatography with confirmation by electrospray mass spectrometry and photodiode-array detection. *Journal of Chromatography A*, 767, 43–52.
- Zukalová H, Vašák J. 2002. The role and effects of glucosinolates of *Brassica* species-a review. *ROSTLINNÁ VÝROBA*, 48, 2002 (4): 175–180.