

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**USO DE TRAMPEO MASIVO CON FEROMONAS SEXUALES
SINTÉTICAS PARA EL MANEJO AGROECOLÓGICO DE *Plutella
xylostella* (Linnaeus)(Lepidoptera: Plutellidae) EN EL CULTIVO DEL
REPOLLO (*Brassica oleracea* L.), EN EL CANTÓN DE ALVARADO,
CARTAGO, COSTA RICA.**

**Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de
Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería
Agronómica con énfasis en agricultura alternativa**

Estudiante

Bach. Jorge Steven Niño Narvárez

Heredia, Costa Rica

Mayo, 2022

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica

Miembros del Tribunal Examinador

Ph.D. Martha Orozco Aceves

Representante de Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

M. Sc. Keylor Villalobos Moya

Representante de Escuela de Ciencias Agrarias

M. Sc. Alejandro Vargas Martínez

Tutor de Tesis

Ph.D. Francisco González Fuentes

Asesor de Tesis

M. Sc. Allan González Herrera

Asesor de Tesis

Bach. Jorge Steven Niño Narváz

Postulante

Resumen

La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar la eficiencia y beneficio económico de dos tratamientos, el uso de feromonas sexuales sintéticas para el trapeo masivo complementario con aplicaciones de insecticidas para el manejo de la polilla del repollo (*Plutella xylostella*), esto en comparación con la aplicación de insecticidas aplicados regularmente a criterio del productor (tratamiento control). Se desarrolló en los distritos de Pacayas y Capellades ambos del cantón de Alvarado en la provincia de Cartago, Costa Rica. En cada tratamiento se utilizaron tres parcelas de repollo cada uno, todas con edades similares entre sí. En cada parcela se instalaron trampas con feromonas sexuales sintéticas para el monitoreo poblacional, contando con una densidad mayor en las parcelas con trapeo masivo. En ambos tratamientos se evaluó semanalmente el porcentaje de daño en las plantas y la cantidad de polillas capturadas en las trampas.

Las evaluaciones se realizaron durante aproximadamente 12 semanas, a lo largo del ciclo productivo del cultivo. Diferentes tipos de factores influyeron en los resultados obtenidos, tales como la época del año, las prácticas agronómicas y culturales utilizadas por cada productor; incluso otros inconvenientes menores como volcamientos de trampas y problemas por pandemia que provocaron la no realización de muestreos durante dos semanas. El beneficio económico de los tratamientos se obtuvo mediante el cálculo de los costos de inversión por tratamiento y de la ganancia económica obtenida por la producción del repollo

Se obtuvo una mayor captura de polillas en el tratamiento control de 18.01 polillas/semana en comparación con el 12.99 de polillas/semana, capturadas en el tratamiento de trapeo masivo más no existió diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos. En cuanto al daño observado en las plantas, el tratamiento con trapeo masivo obtuvo un 46.09% representando un menor porcentaje de daño en el total de plantas por unidad experimental, contra un 83.43% del tratamiento control, resultando una diferencia significativa entre tratamientos. En ambos tratamientos se presentó un aumento gradual paralelamente al desarrollo de las plantas, tanto para la captura como para el porcentaje de daño.

La época en que se realizó la investigación permitió tener una afectación de las polillas relativamente controlada, pues a pesar de estar presentes durante todo el año, las condiciones climáticas favorecieron una menor presencia, en comparación con la época seca donde la proliferación de la plaga es mayor. En lo que respecta al ámbito económico, el tratamiento con trapeo masivo resultó ser menos costoso además obtuvo mejores tasas de productividad por hectárea.

Palabras clave: Manejo integrado de plagas, brasicáceas, residualidad química

Abstract

The present study was developed with the aim of evaluating the efficiency and economic benefit of the use of synthetic sexual pheromones as a complementary mass trapping treatment with insecticide applications for the control of the cabbage moth *Plutella xylostella* compared to conventional treatments with insecticide applications at the discretion of the producer (control treatment). Developed in the districts of Pacayas and Capellades in the province of Cartago, Costa Rica. For both treatments, three cabbage plots each were used, all with similar ages. In each plot, synthetic sex pheromone traps were installed for population monitoring, in the case of the plots with massive trapping, a higher density was also installed as part of the treatment with several traps established per hectare. In both treatments the percentage of plant damage and the number of moths caught in the traps were evaluated weekly.

The evaluations took approximately 12 weeks, throughout the production cycle of the crop. Different types of factors influenced the obtaining of the results such as the time of year, the agronomic and cultural practices adopted by each producer, and certain drawbacks present during the study process. In addition, the economic benefit between treatments was obtained through the estimated costs of each treatment and the economic income obtained by productivity in each case.

A greater capture of moths was obtained in the control treatment with 18.01 moths/week compared to 12.99 moths/week captured in mass trapping treatment, but there was no statistically significant difference between treatments. Regarding of the damage observed in the plants, the treatment with massive trapping obtained 46.09%, being a lower percentage of damage in the total number of plants per experimental unit, against 83.43% of the control treatment, resulting in a significant difference between treatments. In both treatments there was a trend of gradual increase parallel to the development of the plants, both for the capture of moth and for the percentage of damage.

The time in which the research was carried out allowed having a relatively controlled affectation of the moths, because despite being present throughout the year, the climatic conditions favored a lower presence, compared to the dry season where the proliferation of the plague is elder. According to economic benefits, mass trapping treatment based on synthetic sex pheromones turned out to be less expensive and also obtained better productivity rates per hectare.

Keywords: Integrated pest management, brassicas, chemical residuality

Dedicatoria

A Dios, por brindarme la fortaleza, perseverancia y comprensión para poder lograr esta meta.

A mis padres por su amor y apoyo incondicional en cada momento, sin ellos nada de esto hubiese sido posible.

Agradecimiento

Mi profundo agradecimiento a Dios que me iluminó y me brindó paciencia y perseverancia para poder terminar este trabajo.

A mis padres y familiares más cercanos, que me han apoyado y motivado incondicionalmente en todo momento de mi vida.

A mis profesores universitarios que me formaron y guiaron para lograr esta meta; especial agradecimiento a mi profesor y tutor M.Sc. Alejandro Vargas y a mi asesor M.Sc. Allan González

A los colaboradores de la empresa ChemTica S.A. que me permitieron realizar esta investigación, especial agradecimiento al asesor de tesis, el PhD Francisco González por sus valiosos aportes para la culminación del trabajo, y al Ingeniero Carlos Rodríguez por su gran ayuda en las visitas a campo.

A todas aquellas personas que me ayudaron a crecer personal y profesionalmente en esta etapa de mi vida

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
TABLA DE CONTENIDOS.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE ANEXOS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3. MARCO TEORICO.....	5
3.1 Origen, historia y domesticación.....	5
3.2 Características generales.....	5
3.3 Problemas fitosanitarios.....	7
3.3.1 Generalidades <i>Plutella xylostella</i>	7
3.3.2 Ciclo de vida.....	8
3.4 Métodos de manejo de la plaga.....	10
3.4.1 Manejo químico.....	11
3.4.2 Manejo biológico.....	12
3.4.3 Manejo cultural.....	13
3.5 Alternativas de manejo.....	13
3.5.1 Características de las feromonas.....	14
3.5.2 Uso de las feromonas.....	14
3.5.3 Manejos masivos.....	15
3.6 Metodologías evaluadas.....	17
3.7 Factores limitantes.....	19
3.8 Aspectos económicos.....	20

4. METODOLOGÍA.....	21
4.1 Ubicación y características agroclimáticas de la zona.....	21
4.2 Sistema de trampeo y tratamientos.....	23
4.2.1 Sistema de trampeo.....	23
4.2.2 Tratamientos.....	24
4.3 Variables a evaluar.....	26
4.3.1 Cuento poblacional en las trampas de monitoreo.....	26
4.3.2 Evaluación de lesiones en las plantas.....	26
4.4 Análisis económico.....	27
4.5 Diseño experimental.....	28
4.6 Análisis estadístico.....	28
5. RESULTADOS.....	30
5.1 Cantidad de adultos capturados por tratamiento en las respectivas trampas de monitoreo.....	30
5.2 Evaluación del promedio de daño en las plantas.....	33
5.3 Aspectos económicos.....	39
5.3.1 Productos de manejo.....	39
5.3.2 Beneficio económico.....	45
6. DISCUSIÓN.....	45
6.1 Evaluación del uso de feromonas sexuales sintéticas mediante el tratamiento de trampeo masivo y tratamiento control.....	45
6.2 Capturas de adultos en trampas para monitoreo.....	45
6.2.1 Métodos de captura utilizados.....	46
6.2.2 Comportamientos de la plaga.....	46
6.2.3 Dinámica poblacional.....	47
6.2.4 Manejo del cultivo.....	48
6.3 Evaluación de daño.....	51
6.3.1 Daño en las plantas por tratamiento según escala.....	52
6.3.2 Daño a través del tiempo.....	53
6.3.3 Lesiones características de las plantas.....	55
6.4 Análisis económico.....	56
6.4.1 Productos de manejo.....	57
6.4.2 Beneficio económica.....	58

7. CONCLUSIONES.....	60
8. RECOMENDACIONES.....	62
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
10. ANEXOS.....	75

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de parcelas; según área, tratamiento y cantidad de trampas de monitoreo.....	25
Cuadro 2. Escala de daño en repollo.....	27
Cuadro 3. Intervalo de confianza para la captura promedio de <i>P. xylostella</i> para cada tratamiento	31
Cuadro 4: Inversión en plaguicidas realizada por cada productor para el manejo de <i>Plutella xylostella</i>	40
Cuadro 5: Costos totales de feromonas, trampas, mantenimiento e instalación para cada parcela de estudio	42
Cuadro 6: Inversión total (feromonas + plaguicidas) para el manejo de <i>P. xylostella</i> en cada parcela.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas fenológicas del repollo.	6
Figura 2. Adulto de <i>P. xylostella</i>	8
Figura 3: Ciclo biológico de <i>P. xylostella</i>	9
Figura 4. Diferentes etapas del ciclo biológico de <i>P. xylostella</i>	10
Figura 5. Parcela con trapeo masivo, en el cultivo de repollo en Cartago, Costa Rica.....	16
Figura 6. Trampa tipo galón de plástico en campo y septos de hule emisores de feromonas sexuales sintéticas.....	17
Figura 7. Figura geográfica de la parcela 1, Capellades, Cartago.....	22
Figura 8. Figura geográfica de la parcela 2, Capellades, Cartago.....	22
Figura 9. Figura geográfica de la parcela 3, Capellades, Cartago.....	22
Figura 10. Figura geográfica de la parcela 4, Capellades, Cartago.....	22
Figura 11. Figura geográfica de la parcela 5, Pacayas, Cartago.....	23
Figura 12. Figura geográfica de la parcela 6, Pacayas, Cartago.....	23
Figura 13. Trampa tipo galón sobre el dosel del cultivo de repollo.....	24
Figura 14. Trampa tipo galón sobre el dosel del cultivo.....	30
Figura 15. Capturas de adultos de <i>P. xylostella</i> en colador.....	30
Figura 16. Promedio de capturas según tratamiento y fecha de evaluación.....	31
Figura 17. Promedio de capturas de adultos según fecha.....	32
Figura 18. Promedio de captura de polillas/trampa/noche según finca y semana de evaluación.....	33
Figura 19. Planta joven con lesiones leves por <i>P. xylostella</i>	34
Figura 20. Planta de edad avanzada con pequeñas lesiones en la cabeza.....	34
Figura 21. Planta con lesiones severas en hojas externas y cabeza.....	35
Figura 22. Larva en estadio 3 de <i>P. xylostella</i>	35
Figura 23. Porcentaje de daño en las parcelas en ambos tratamientos.....	36
Figura 24. Promedio porcentual de daño según tratamiento.....	36
Figura 25. Promedio porcentual de daño, según fecha de evaluación durante período.....	37
Figura 26. Restos de cosecha de parcela contiguo a unidad experimental.....	38
Figura 27: Daños en la cabeza del repollo; orificios grandes y pequeños tanto en cabeza como hojas externas.....	39

Figura 28: Afectación en hoja; orificios completos, consumo del envés.....	39
Figura 29: Costos promedio de aplicaciones de plaguicidas por metro cuadrado.....	41
Figura 30: Costo promedio del total de inversión (feromona + plaguicidas) para el manejo de <i>P.</i> <i>xylostella</i> por metro cuadrado.....	44

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Instalación de trampas antes de la siembra del repollo, Pacayas, Cartago.....	75
Anexo 2: Proceso de cosecha en parcela bajo el tratamiento con trampeo masivo, Pacayas, Cartago.....	76
Anexo 3: Parcela bajo tratamiento convencional con restos de cosecha y con segmentos por cosechar. Capellades, Cartago.....	77
Anexo 4: Cuadro con el promedio de captura de polillas/trampa/noche según finca y semana de evaluación. TM: trampeo masivo; TC: tratamiento control.....	78
Anexo 5: Medias ajustadas y errores estándares de capturas según tratamiento y fecha.....	79
Anexo 6: Análisis de varianza para la variable capturas.....	80
Anexo 7: Medias ajustadas y error estándar para la variable daño, según fecha y tratamiento.....	81
Anexo 8: Medidas resumen para la variable daño, según fecha y tratamiento.....	82

1. Introducción

Las brásicas a nivel mundial son especies hortícolas muy importantes, tanto por su área sembrada como el valor de su producción; siendo el brócoli, coliflor, repollo y col de Bruselas las de mayor importancia (Jaramillo y Díaz, 2006). La mayoría de las brassicáceas, incluido el repollo (*Brassica oleracea*), tienen sus orígenes en la zona del Mediterráneo, Asia menor, Inglaterra y Dinamarca, y representando la familia de hortalizas más numerosa, aportando cerca de catorce hortalizas (Rikolto, 2019). En el 2018 se produjeron 69 millones de toneladas, con cerca de 2.4 millones de hectáreas cosechadas a nivel mundial (FAOSTAT, 2018).

En Centroamérica, se produjeron un total de 485 mil toneladas, en cerca de 13.500 hectáreas cosechadas durante el año 2018. Para el mismo año, Costa Rica presentó una producción superior a las 28 mil toneladas cosechadas en 824 hectáreas. Sin embargo, a nivel regional queda rezagado debido a mejores rendimientos y mayor área de producción de Guatemala y Honduras con producciones de 75 mil y 91 mil respectivamente. (FAOSTAT, 2018). En el país las zonas más importantes en la producción de este cultivo se encuentran en los distritos de Tapezco, Zarcero y Pueblo Nuevo pertenecientes al cantón de Zarcero de Alajuela. En el caso de Cartago se produce en Cervantes, Pacayas, Oreamuno y Dulce Nombre, representando la provincia con mayor número de fincas dedicadas al cultivo de repollo con 326 fincas. También hay pequeñas producciones en San Isidro de Heredia y Rancho Redondo donde se cultiva el repollo, pero en cantidades poco significativas. En su totalidad existen 750 fincas productoras de repollo en todo el país (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2015; Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], s.f.).

La principal plaga de crucíferas a nivel mundial es *Plutella xylostella*, comúnmente conocida como la polilla “dorso de diamante”. Su afectación sobre los cultivos puede representar hasta un 75% del total de insectos presentes, y a su vez ocasionar pérdidas económicas significativas de hasta el 90% de la producción (Sáenz, 2012), lo que representa una pérdida en cultivos anuales mundiales de alrededor de los 4 y 5 billones de dólares. (Correa-Cuadros, Rodríguez-Bocanegra, & Sáenz-Aponte, 2014). Los altos niveles de daño ocasionados por esta plaga dependerán de características ambientales del lugar, periodo de crecimiento, y las aplicaciones de insecticidas (Mena y Hernández, 2017).

Por lo general, la estrategia para el manejo de la plaga se basa en el uso indiscriminado de pesticidas de síntesis química como piretroides, carbamatos, organofosforados y reguladores de crecimiento; sin embargo, *P. xylostella* ha desarrollado resistencia a muchos de los insecticidas utilizados (Sáenz, 2012), siendo esta plaga la primera en ser reportada como resistente al DDT en 1953 en Java,

Indonesia; y a otros nuevos químicos como avermectinas, espinocinas y oxadiazinas (Sarfraz, Keddie & Dossall, 2005).

La aplicación de productos químicos representa para la salud humana un riesgo muy importante, siendo los trabajadores agrícolas directamente relacionados con la aplicación de plaguicidas los de mayor exposición a estos productos. Se ha demostrado que existe una exposición directa e indirecta de una gran parte de la población tanto rural como urbana a este tipo de plaguicidas, así como al medio ambiente con la contaminación de agua, suelos y aire, lo que ha generado un interés en implementar técnicas relacionadas con el Manejo Integrado de Plagas (MIP) contra *P. xylostella* (Espinoza, Vaquerano, Torres y Montiel, 2003; Mena y Hernández, 2017). Asimismo, a nivel centroamericano la resistencia de la plaga ha sido estudiada ampliamente ante gran cantidad de insecticidas, incluso ante insecticidas eco amigables como el *Bacillus thuringiensis* (Perez & Shelton, 1997).

El uso de feromonas como complemento al manejo agroecológico de plagas (MAP) está ganando interés, debido principalmente a la disminución del uso de plaguicidas en vegetales de consumo directo, y a la resistencia generada por la plaga. Además de disminuir el impacto de la plaga, las feromonas reducen los peligros generados por los plaguicidas que afectan al medio ambiente y la salud humana (Topagi, Bhanu & Ashok., 2018). Por ejemplo, en el programa de manejo de plagas de Nueva York, productores de manzano probaron trampas con feromonas para cinco lepidópteros, obteniéndose una disminución en sus gastos de \$60 por hectárea, sin verse afectada la calidad y cantidad de la fruta; incluso se disminuyó en un 50% en uso de plaguicidas (Kuniyoshi, 2002).

También se han realizado pruebas con dichas feromonas específicamente para controlar la polilla *P. xylostella* en repollo, en las cuales se empleó una feromona sintética bajo diferentes tratamientos y determinadas evaluaciones. Estas se basaron en probar áreas con trampeo masivo acompañado con *B. thuringiensis* como insecticida orgánico en comparación con áreas tratadas únicamente con insecticidas químicos (Wang, Le, Fang & Zhang, 2004). Además, Calyecac-Cortero, Cibrián-Tovar, y Barrios-Díaz (2002), evaluaron diversas dosis de feromonas sintética en los septos, y en distintos tipos de trampas. Ambos estudios presentaron resultados positivos en la efectividad de las feromonas sexuales sintéticas para el manejo de dicha plaga en repollo.

Dado lo anterior, existen alternativas de manejo a base de feromonas sintéticas como una estrategia de monitoreo y manejo, por lo que su bajo costo y confiabilidad promueve una mayor implementación en planes de manejo integrado de la plaga (Witzgall, Kirsch & Cork, 2010). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar el trampeo masivo con feromonas para el manejo de *P.*

xylostella en comparación con métodos de manejo con químicos convencionales para determinar la eficiencia de cada tratamiento en términos de dinámica poblacional, daño en el cultivo y rentabilidad de este en localidades del cantón de Alvarado en la provincia de Cartago.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia y utilidad del trapeo masivo con feromonas sintéticas contra *Plutella xylostella* como estrategia de manejo agroecológico de plagas como una alternativa a los plaguicidas químicos convencionales en el cultivo de repollo en la localidad del cantón de Alvarado, Cartago, Costa Rica.

2.2 Objetivos específicos

- Comprobar la dinámica poblacional de *Plutella xylostella* en el cultivo de repollo mediante el uso del trapeo masivo con feromonas sexuales sintéticas en comparación con aplicaciones químicas convencionales.
- Determinar el daño por *Plutella xylostella* en el cultivo de repollo bajo el sistema de trapeo masivo con feromonas sexuales sintéticas y aplicaciones químicas programadas mediante escalas de daño en las plantas.
- Analizar los costos y beneficios económicos del sistema de trapeo masivo con feromonas en comparación con aplicaciones químicas convencionales.

3. Marco teórico

3.1. Origen, historia y domesticación

El origen de la planta de repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*) proviene de las regiones del mediterráneo y en zonas costeras de Europa del Este; sin embargo, también se encontraron en lugares como Dinamarca, Inglaterra y Francia (González, 2010). Se ha cultivado, al menos, desde los 2500 a.C., con diversas variedades conocidas por los Griegos y Romanos (Andersen, s.f.).

Su domesticación fue a partir de la planta silvestre de *B. oleracea*, la cual se seleccionó y reprodujo, dando lugar a los que hoy se conoce como Kale (*B. oleracea* var. *acephala*), comúnmente se preferían las plantas que presentaban un racimo de hojas más compacto, estas se seleccionaron y propagaron hasta dar lugar a la planta de repollo (*B. oleracea* var. *capitata*) que se conoce actualmente. Esta se introdujo en América por primera vez en el siglo XVI, y posteriormente por los primeros colonos. Su nombre en inglés “cabbage”, se deriva de la palabra francesa “caboche” que significa cabeza (Andersen, s.f.; Fornaris, 2014).

3.2 Características generales

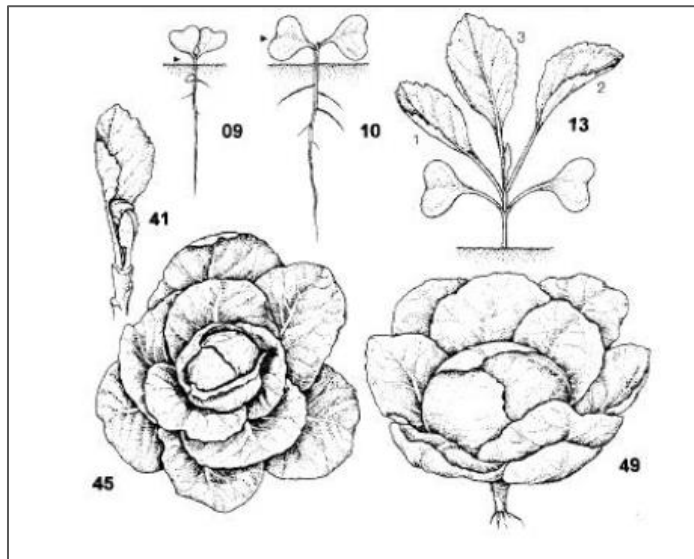
Es una planta de la familia botánica Brassicaceae, dicotiledónea, de tallo no ramificado, corto y grueso, y suele alargarse antes de la inflorescencia, sus hojas presentan superficie cerosa, sus primeras hojas son anchas, redondas y gruesas, con venas prominentes. La cabeza se va formando a partir de un denso desarrollo sobre el punto de crecimiento, y el tamaño de este estará condicionado, entre otras cosas, por el material genético, la planta puede alcanzar hasta los 60 cm de altura. Su raíz por lo general es poco profunda, concentrándose en la mayoría de las veces en los primeros 30 cm de suelo (González, 2010; Fornaris, 2014).

Las plantas de repollo son bianuales, con fase reproductiva y vegetativa; en cuanto a la fase reproductiva requiere de diversos estímulos como la temperatura para la activación de diversos procesos fisiológicos. La fase vegetativa es la más importante debido a la producción del producto final llamado cabeza, el cual está formada por hojas sin peciolo, pudiendo ser compacta o abierta, y de colores como el verde, siendo el más común, y el morado, que está menos difundido. (Petit, 2009).

En la fase vegetativa la primera etapa empieza con la germinación entre los 8 y 10 días, y termina en estado de plántula teniendo entre 4 y 5 hojas verdaderas. La segunda etapa comienza a partir del

trasplante, que una vez recuperada de ese proceso comienza una importante ganancia de biomasa. En la tercera etapa, la planta produce hojas de pecíolos alargados, y finaliza cuando presenta doce hojas, mencionando que las hojas originales no formarán parte de la cabeza. En la última etapa se producen hojas sin pecíolo, formando la cabeza. Estas hojas sin pecíolo crecen rápido permitiendo el tamaño característico según cultivar (González, 2010). En la siguiente figura se muestra las diferentes etapas por las que pasa el repollo durante el ciclo de cultivo, con el tiempo en días aproximado para alcanzar cada etapa.

Figura 1. Etapas fenológicas del repollo. 09: emergencia, 10: cotiledones completamente desplegados, 13: tercer par de hojas verdaderas desplegadas, 41: cabeza comienza a formarse, 45: 50% de la cabeza formada, 49: tamaño típico, cabeza firme y formada.



Fuente: González, 2010

El repollo es una de las hortalizas de mayor producción y consumo a nivel mundial, siendo la preferida entre las crucíferas, como el brócoli o la coliflor. Se estima que su producción ronda los 58 millones de toneladas y cerca de tres millones de hectáreas cultivadas; con China, India y Rusia como los mayores productores a nivel mundial (Balliu, 2014). A nivel regional México es el mayor productor con 214 mil toneladas seguido de Guatemala y Honduras con producciones de 75 mil y 91 mil respectivamente (FAOSTAT, 2018). En el caso de Costa Rica, el área producida entre los años 2014 a 2016, tuvo un promedio de 828 hectáreas productoras, y un rendimiento de 32.697 toneladas cosechadas en el mismo período (MAG, 2018).

El aprovechamiento del producto se centra en las hojas internas de la cabeza del repollo, estas se consumen cocidas o frescas. Nutricionalmente el repollo es alto en vitamina C y en hierro, incluso contiene fibra, calcio, carbohidratos, y vitamina A. Adicionalmente se ha probado un efecto positivo contra el cáncer pulmonar debido al contenido de glucosinatos, y también resultados alentadores para la reducción de colesterol en sangre (Rikolto, 2019).

Las condiciones ambientales en las que se encuentre el cultivo son aspectos importantes para considerar, ya que el rango óptimo de temperatura para su desarrollo es entre 15 y 18°C, y superior a 25°C el proceso de desarrollo se torna lento. En el caso de la germinación esta también tiene un rango óptimo de temperatura siendo la mínima y máxima de 5°C y 35°C respectivamente. En cuanto al suelo el cultivo se adapta de suelos limo-arenosos a limo arcillosos, y tolera pH ácido entre 6 a 6.5 (Zamora, 2016).

3.3 Problemas fitosanitarios

El repollo sufre muchas pérdidas de calidad y rendimiento a causa de diversas plagas mayoritariamente Lepidópteros, siendo *P. xylostella* (Linnaeus) la más importante (Hasheela, Nderitu & Olubayo, 2010). Se caracteriza por ser un insecto con alta tasa reproductiva, y esto le facilita la infestación, con picos de población principalmente en temperaturas calientes y secas (Oliveira, *et al.*, 2021). Lo anterior la convierte en una plaga muy recurrente y predominante, alcanzando hasta un 75% de la población de los insectos totales en determinado ambiente, y ocasionando importantes pérdidas económicas hasta de un 92% para los productores a nivel mundial (Curis, Bertolaccini, Lutz y Favaro, 2019; Sáenz, 2012).

3.3.1 Generalidades de *Plutella xylostella*

Plutella xylostella (Figura 2), es una plaga del orden Lepidóptera y de la familia Plutellidae. Tiene su origen en el Mediterráneo, donde también son originarias algunas plantas de la familia de las crucíferas como el brócoli o coliflor. La plaga causa graves daños en los cultivos, y una de sus causas es debido a la ausencia de diversidad de fauna benéfica como parasitoides generalmente a causa del uso excesivo de plaguicidas. Esta situación facilita que la plaga se establezca rápidamente, y su habilidad migratoria le permita recorrer largas distancias restableciéndose en zona de escaso manejo biológico (Bújanos *et al.*, 2013).

Figura 2. Adulto de *Plutella xylostella*



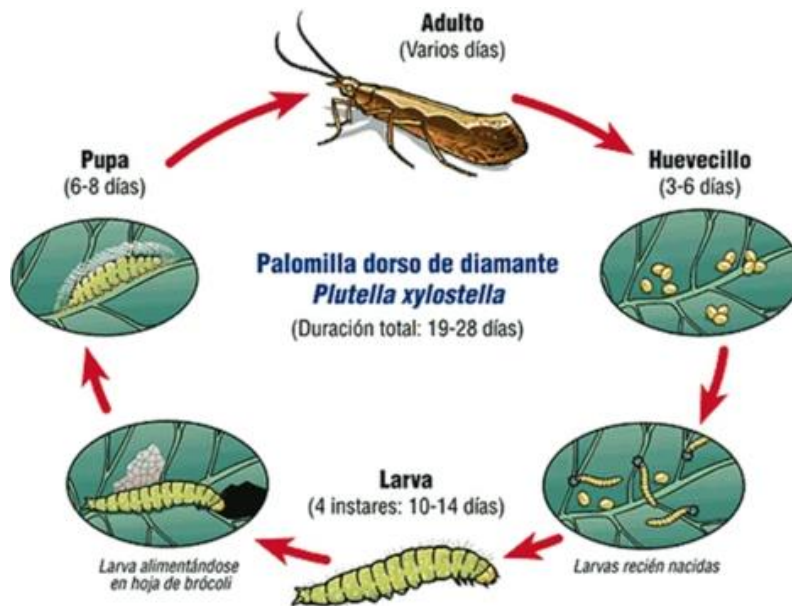
Fuente: Flickr de Yahoo! (Nikolai Vladimiroi)

3.3.2 Ciclo de vida

El adulto mide alrededor de 9 mm de longitud, suele ser grisáceo-café, y en cuanto a sus antenas estas rondan los 5 mm de largo. La expectativa de vida de los adultos machos es de 12 días, mientras que el de las hembras es de 16 días (Hermansson, 2016). Las hembras se distinguen por ser de color gris pardo oscuro y de ser un poco más grandes, mientras que los machos presentan un patrón en las alas de color crema en forma de tres diamantes, resaltando cuando se encuentran plegadas (Bújanos *et al.*, 2013).

La polilla dorso de diamante cuenta con cuatro etapas en su ciclo de vida (Figura 3), siendo huevo, larva, pupa y adulto, y su duración dependerá de la temperatura y condiciones presentes (Hermansson, 2016). El tiempo total de desarrollo desde huevo hasta la etapa pupal promedia los 25-30 días, puede variar según las condiciones climáticas. En cuanto al número de generaciones varía de cuatro hasta 12 anualmente, dependiendo también de las condiciones ambientales en las que se encuentre, siendo los trópicos más aptos para su continua y rápida reproducción (Capinera, 2011; Sarfraz & Keddie, 2005).

Figura 3. Ciclo biológico de *Plutella xylostella*, con la cantidad de días aproximada para alcanzar cada etapa.



Fuente: López y Sosa, 2016

Según Capinera (2011) los huevos de la polilla suelen ser ovalados y aplanados, con medidas de 0.44 mm de longitud y 0.26 mm de anchura. Presentan color amarillo o verde pálido, y las hembras por lo general depositan individual o en grupos pequeños de entre 2-8 huevos, en el envés de la hoja o en otras partes de la planta; las hembras por lo general promedian un total de 150 huevos producidos.

Los hábitos alimenticios del primer instar consta de mina de hojas, sin embargo, estas son tan pequeñas que resultan poco notables. Al final del primer instar la larva muda desde estas minas y luego de esto sigue alimentándose de la parte inferior de la hoja. Los mordiscos resultan en parches irregulares de daño, sin verse afectada el haz de la hoja. En el segundo instar, comienza a consumir vorazmente el follaje sin parar, siendo característico de la plaga. Los últimos instares terminan de consumir el follaje en su totalidad, incluida la superficie cerosa (Capinera, 2011; Hermansson, 2016).

Posterior al cuarto instar, las larvas se envuelven en un hilo sedoso formando pupas, que suelen ser de color verde a amarillo/marrón, y comúnmente se encuentran sujetas a las hojas o tallos. La etapa pupal tardará entre 8 y 9 días, o cerca de 130 grados día, y dependerá también de factores ambientales y de la planta huésped (Hermansson, 2016; Rojas, 2019).

Figura 4. Diferentes etapas del ciclo biológico de *P. xylostella*: a) Huevos, b) Larva, c) Pupa



.Fuente: Google imágenes

Una vez superado la etapa de pupa, el adulto es comúnmente más activo a partir del atardecer y la noche, ya que por lo general los adultos emergen en la mañana y ya en la noche están listos para copular. Las hembras suelen iniciar la ovoposición en la noche del mismo día de manera inmediata, y depositan los huevecillos comúnmente en el envés de las hojas, y en ocasiones en los pecíolos y tallos de la planta (Bújanos *et al.*, 2013).

Además, las hembras ponen sus huevos en periodos hasta de 10 días, el cual el 95% de las hembras empiezan el mismo día de su emergencia. Estas tienen una alta capacidad reproductiva, poniendo cerca de 200 huevos mensualmente en la superficie de las hojas superiores, teniendo hasta 20 generaciones por año, dependiendo de la región en la que se encuentre, siendo los trópicos más aptos para su continua y rápida reproducción (Hermansson, 2016; Sarfraz & Keddie, 2005).

3.4 Métodos de manejo de la plaga

La polilla dorso de diamante es la principal plaga en el cultivo del repollo, la cual para los productores representa dificultades para su manejo, por causa de aspectos característicos como su alta tasa reproductiva y su abundancia constante anualmente. Algunos de los desafíos para su manejo radican en la importancia de eliminar la dependencia de un único método de manejo, con el objetivo de diversificar prácticas para reducir la incidencia poblacional de la plaga (Machekano, Mvumi & Nyamukondiwa, 2017).

3.4.1 Manejo químico

Para el manejo de plagas existen diversidad de alternativas, pero la más utilizada de estas es la aplicación de insecticidas químicos ya que los agricultores prefieren utilizarlos debido al efecto y mecanismo de acción, además de su fácil disponibilidad en el mercado. Entre los principales productos se encuentran los piretroides, carbamatos, organofosforados y reguladores de crecimiento; no obstante, la plaga ha generado resistencia a muchos de estos insecticidas; (Mena y Hernández, 2017; Sáenz, 2012), siendo reportado en Indonesia en el año 1953 el primer caso de resistencia al DDT (Sarfranz *et al.*, 2005).

Una posible causa de que la plaga sea resistente a diversos insecticidas puede deberse al indiscriminado uso de estos, ya que se realizan aplicaciones excesivas de plaguicidas, aplicando entre 1 a 3 veces por semana y hasta 10 veces por ciclo de cultivo, debido a la falta de criterios técnicos para optimizar aplicaciones, sin tomar en cuenta la densidad de la plaga y época en que se encuentre (Araya, Monge, Carazo, y Cartín, 1999; Correa-Cuadros *et al.*, 2014).

La rotación de insecticidas es una opción viable para el manejo químico de la plaga, sin embargo, en un estudio realizado por Zhao, Collins & Shelton (2010), se logró determinar que dicha rotación debe hacerse con una clase de insecticida por generación, y utilizar otra clase de insecticida con diferente modo de acción en el siguiente ciclo de producción, por lo que si dicha estrategia fuese implementada la vida útil de los insecticidas se podría prolongar. En el mismo estudio se evidenció que utilizar diferentes insecticidas al mismo tiempo en parcelas o campos vecinos permitió que la plaga se pudiera movilizar, concluyendo que la rotación de insecticidas en periodos cortos en la misma generación de la plaga se debe de evitar, ya que al existir una exposición simultánea a diferentes insecticidas provoca una menor efectividad.

Entre algunos de los productos químicos utilizados para el manejo de la plaga se encuentran Pirimicarb, Pimetrozina o Spinosad, así como otros de origen natural como *Bacillus thuringiensis*, que incluso se les consideran menos dañinos para los enemigos naturales, y comúnmente utilizados en el manejo de la plaga (Machekano *et al.*, 2017).

A pesar de los métodos anteriormente citados para mejorar la eficiencia de productos químicos para el manejo de la plaga, este sigue representando un costo significativo cuando se da uso de agroquímicos, tal como lo demuestra Zalucki, Shabbir, Adamson, Shu-Sheng & Furlong (2012), la cual independientemente de la zona geográfica en que se ubique la plaga, los costos generalmente se duplican cuando se usan estrategias convencionales (plaguicidas químicos) en comparación con el manejo

integrado de plagas; además aspectos como la ineficiencia de la aplicación (cobertura), tiempo de aplicación, resistencia de insecticidas, entre otros, denotan aún más dichos resultados.

3.4.2 Manejo biológico

Para el manejo biológico de *P. xylostella* se han utilizado parasitoides como *Diadegma insulare* (parasita los huevos) o *Cotesia plutellae* (ataca la larva), u hongos y nematodos entomopatógenos. En el caso de nematodos, *Heterorhabditis bacteriophora* ha demostrado hasta un 85% de mortalidad en diferentes estadios larvales, estos ingresan por orificios naturales e introducen una bacteria que destruye los tejidos internos del insecto para alimentarse y reproducirse (Chávez y Hurtado, 2010; Correa-Cuadros *et al.*, 2014).

En el caso de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, hongos entomopatógenos, pueden producir hasta un 50% de mortalidad; no obstante, su método de acción es diferente al nematodo, ya que este se adhiere a la cutícula del insecto, penetrándola y degradando mediante enzimas para ser colonizado en su totalidad (Chávez y Hurtado, 2010). Según Mena y Hernández (2017), *B. thuringiensis* se considera un importante entomopatógeno ya que produce diversas proteínas Cry con actividad tóxica sobre varias especies de insectos entre ellos *P. xylostella*, especialmente en larvas, posibilitando la formulación de bioinsecticidas a base de *B. thuringiensis*.

Sin embargo, a pesar de un crecimiento notable en el último tiempo, también cabe rescatar que los productores siguen prefiriendo otras alternativas de manejo como la química debida a la acción inmediata que se logra observar sobre el manejo de la plaga, y la resistencia de insecticidas biológicos principalmente originados a base de *B. thuringiensis*. Además, el manejo biológico suele ser más complejo con respecto al manejo químico debido a que la polilla depende de la interacción con otros organismos vivos, que abarca la introducción de especies exóticas, el manejo de estas, y la programación de las aplicaciones (Bújanos, *et al.*, 2013; Mena y Hernández, 2017). Incluso, Machezano *et al.* (2017), afirmaron que la introducción de diferentes organismos para el manejo suele ser ineficiente a causa del desajuste climático entre las áreas de origen y a las de liberación, esto sumado a las cambiantes condiciones de temperaturas, humedad, y climas impredecibles provocados por el cambio climático global.

3.4.3 Manejo cultural

La rotación de cultivos, eliminación de residuos de cosecha después del corte pasando una rastra o realizar un barbecho para ser incorporados al suelo, revisar y monitorear las plántulas que se encuentren libres de huevecillos o larvas para evitar la introducción de la plaga desde etapas temprana del cultivo son algunas prácticas preventivas para el desarrollo de la plaga. Otras prácticas como la rotación de cultivos con otros no hospederos de la plaga, uso de variedades resistentes, evitar el uso de insecticidas perjudiciales para el ambiente y generar ambientes propicios para el establecimiento de los enemigos naturales también funcionan como alternativas para evitar una mayor propagación de la plaga (Bújanos *et al.*, 2013; Machekano *et al.*, 2017).

Prácticas culturales como cultivos intercalados pueden funcionar como refugio de algunos enemigos naturales, como lo son el maíz y la habichuela el cual suelen ser refugio para *Diadegma insularis* que disminuyó hasta un 40% de larvas de *P. xylostella*, incluso el tomate que actúa como repelente de la plaga (Chávez y Hurtado, 2010).

3.5 Alternativas de manejo

Se han desarrollado investigaciones sobre métodos biorracionales que se basan en el conocimiento de procesos fisiológicos y bioquímicos específicos, patologías y comunicación intra e interespecífica de los insectos dirigidos especialmente a cuatro líneas de investigación: reguladores de crecimiento de insectos, bioinsecticidas, manejo biológico y semioquímicos (Vacas, 2011). En la comunicación química de los insectos, están subdivididos en cuatro categorías: alelomonas, kairomonas, sinomonas, y feromonas, estas últimas son los semioquímicos más estudiados en la ecología química de los insectos, y son los compuestos químicos utilizados en la comunicación intraespecífica (Cotes, 2018).

El impacto negativo de los insecticidas en la agricultura ha obligado a buscar opciones menos dañinas tanto para el ambiente, biodiversidad y salud humana. El uso de feromonas es una alternativa importante para el manejo agroecológico de plagas, al modificar el comportamiento de diferentes insectos plaga asociados a varios cultivos a nivel mundial. Incluso se han desarrollado muchas investigaciones para la identificación de alternativas de manejo, con el fin de reducir o eliminar el uso de insecticidas (Nurulhidayah & Kamarudin, 2011; Ramírez, 1996).

Para el adecuado uso de las feromonas sintéticas se debe considerar ciertos umbrales de captura para que la agresividad de la plaga en el cultivo no provoque problemas aún más complicados de

controlar. Según Reddy & Guerrero (2001), cuando las capturas de machos superan los 16 adultos por trampa/noche en repollo, los tratamientos con feromonas no presentan diferencia significativa en comparación con parcelas bajo tratamientos regulares de insecticidas en relación con la cantidad de huevos opositados en el cultivo. Para el caso del tratamiento con feromonas bajo el umbral de 12 machos por trampa/noche si mostró una ligera ventaja en cuanto a sus comparaciones con tratamientos regulares de insecticida; en dicha investigación se concluyó que no se debería sobrepasar el umbral de acción de 8 polillas/trampa/noche en repollo como parámetro para lograr una óptima aplicación de insecticidas y así evitar una mayor propagación de la plaga.

3.5.1 Características de las feromonas

En cuanto a las feromonas son las implicadas en la comunicación intraespecífica y existen dos tipos: las inductoras relacionadas con características de comportamientos (alarma, sexual, agregación), y las primarias, relacionadas con el desarrollo (maduración sexual) (Vacas, 2011). Conceptualmente las feromonas son moléculas orgánicas producidas por animales, dirigidas a un receptor de la misma especie produciendo consigo una respuesta, pudiendo ser formadas por una sustancia o una mezcla. Están formadas de acetatos, alcoholes, aldehídos, cetonas, entre otros, dependiendo también de la especie y el tipo de feromona (Blanco, 2004).

Entre los tipos de feromonas se encuentran: de alarma, reclutamiento, agregación, marcadores de trillo, y sexuales, esta última es la más importante debido a su función primordial de apareamiento, por lo general funciona como un atrayente. El efecto de las feromonas puede ser influenciados por factores como la madurez sexual, edad de la hembra, fotoperiodo, temperatura, intensidad de luz, entre otros. Además, la difusión de la feromona por parte de la hembra se acompaña de un comportamiento donde se comprime la glándula que emite la feromona, la cual se difunde con el viento; por otro lado, el macho receptor responde con un vuelo zigzagueante contra viento, siguiendo estímulos auditivos y visuales, comportamiento estereotípico en polillas (Blanco, 2004; Cal, s.f.).

3.5.2 Uso de feromonas

Para una correcta y exitosa utilización de feromonas en la agricultura se debe contar con un amplio conocimiento de la biología del insecto a manejar, su ciclo de vida, hábitos, relación con las condiciones ambientales, así como conocer las características del cultivo relacionado al ataque del

insecto y una buena síntesis de la feromona (Cal, s.f.). Además, su función va dirigida a cumplir propósitos como detección de la plaga, determinar emergencia de adultos, y evaluar su incidencia y cantidad (Vacas, 2011). Se ha demostrado que las feromonas sexuales de *P. xylostella* juegan un papel importante para atraer parasitoides, tanto los componentes individuales como una mezcla sintética de estos. Parasitoides como *Cotesia plutellae* (Hym: Braconidae) o *Trichogramma chilonis* (Hym: Trichogrammatidae) o depredadores como *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Crysopidae) han sido atraídos por los componentes de diferentes feromonas (Reddy, *et al.*, 2002).

Algunos beneficios relacionados con el medio ambiente es que son especie-específicas lo que las hace sumamente efectivas y no perjudica otros insectos como posibles enemigos naturales, además son sensibles ya que pueden detectar poblaciones a pesar de su baja presencia, y su baja posibilidad de presentar resistencias. Sin embargo, cuenta con la necesidad del conocimiento preciso de la estructura química para lograr eficiencia (Cal, s.f; Vacas, 2011).

3.5.3 Manejos masivos

Existen diferentes maneras de realizar un uso adecuado de las feromonas sintéticas para el manejo de poblaciones en un ambiente determinado; entre los tipos más utilizados se encuentran la confusión sexual, la atracción y muerte, y trampeo masivo (Altesor, Rossinni y González, 2009).

La confusión sexual se basa en sobrecargar el ambiente con emisiones de la feromona sexual, con el objetivo de alterar el comportamiento del macho, el cual lo desorienta, e interrumpe la comunicación entre sexos, provocando que se reduzca la reproducción del insecto. La ventaja de este método es que no necesita la mezcla exacta de los componentes químicos, ya que su efecto puede realizarse con mezclas simples o con el componente mayoritario, lo que simplifica su proceso y reduce los costos (Altesor *et al.*, 2009).

Otros métodos de uso de feromonas son la atracción y muerte/esterilización/infección que suelen ser similares al de trampeo masivo; sin embargo, este no queda retenido en la trampa, sino que se basa en la atracción del insecto a un sitio en el cual la feromona ha sido mezclada, generalmente con pequeñas cantidades de insecticida, que provocan posibles infecciones o le ocasiona directamente la muerte (González, Kharrat, Rodríguez, Calvo & Oehlschlager, 2019; Vacas, 2011).

Por último, se encuentra el trampeo masivo, que para el caso de *P. xylostella* en repollo se basa en mantener las poblaciones por debajo del umbral de daño 8 polillas/trampa/noche (Reddy & Guerrero,

2001). En este método, los insectos quedan adheridos ya sea en un adhesivo, en el depósito de agua o alguna otra forma de retención, resultando el depósito con agua el más eficiente, por lo que resulta importante el diseño de la trampa para una mejor captura; por lo general los emisores de feromona tienen cargas aproximadas de 1 mg, y la densidad de trampas va de las 10 hasta 40 por hectárea. Este método suele ser utilizado para manejo de plagas en cultivos hortícolas y forestales, así como plagas en granos almacenados (González, Altesor, Sellanes, y Rossini, 2012).

Figura 5. Trampeo masivo de trampas con feromonas sexuales sintéticas para la plaga *Plutella xylostella*, en el cultivo de repollo en la zona de Cartago, Costa Rica.



Fuente: Propia

Las trampas deben contar con ciertas características para que cumplan una mejor labor, tales como el color, tamaño, altura sobre el suelo y hasta la densidad. Entre las trampas de mayor comercialización se encuentran las ladas, las Delta, la Lindgren, la Nadel, y otros modelos caseros como baldes, galones o botellas de plástico, la cual pueden ayudar a disminuir costos (Blanco, 2004). Con lo que corresponde a emisores de la feromona están los laminados, fibras huecas, microcápsulas, tubos de polimérico o septos de hule entre los más comercializados (Vacas, 2011).

Figura 6. A) Trampa tipo galón de plástico, ajustada a un palo de madera y con agujeros a ambos lados para la captura de insectos. B) Septos de hule como emisores de feromonas sexuales sintéticas.



Fuente: Propia

3.6 Metodologías evaluadas

En la actualidad se cuenta con investigaciones anteriormente realizadas, donde han evaluado el método de manejo masivo como alternativas de manejo agroecológico de plagas, con el fin de comprobar su eficiencia de utilidad en la agricultura.

En el estudio realizados por Wang *et al.* (2004) en el cultivo de repollo se utilizaron tres tipos de trampas con feromona específicas para *P. xylostella*. En un sector se aplicó el trampeo masivo con dos aplicaciones de *B. thuringiensis* como insecticida orgánico, y en otro sector sin trampeo masivo con la aplicación de insecticidas químicos, en siete ocasiones durante el período de estudio. Resultaron menores densidades poblacionales de larvas/planta en el tratamiento con trampeo masivo, y de los tipos de trampas, el tipo cono fue la más eficiente. Lo anterior indica la efectividad del método, incluso siendo combinado con un insecticida de origen orgánico, se obtuvo un menor impacto negativo al medioambiente y menores daños al cultivo.

En otro estudio, realizado por Calyecac-Cortero *et al.* (2002), se compararon tres diferentes concentraciones de liberadores de feromona, en dos diferentes periodos para controlar la misma plaga. En ambos períodos resultó ser más eficiente la trampa tipo galón de plástico con agua jabonosa, colocada cerca de 25 cm del suelo, y con una concentración de 0.5 y 1 mg de feromona, debido a ser las más convenientes, y a su comportamiento en cuanto al agotamiento de esta durante el periodo de uso. En dicho estudio también se compararon con trampas pegajosas que resultaron ser menos eficientes debido

a su rápida saturación de la lámina y el requerimiento de constantes cambios de lámina durante los periodos de prueba.

El uso de feromonas sexuales sintéticas ha sido utilizado en diferentes plagas y cultivos alrededor del mundo, la cual indica un crecimiento en el interés por utilizar este tipo de alternativas. Tal y como es en el caso del picudo negro de la palma (*Rhynchophorus palmarum* (L.)), este se caracteriza por causar importantes daños en el cultivo de la palma aceitera además de ser vector del nematodo *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb). En investigaciones realizadas bajo el trapeo masivo en un programa de 30 hectáreas entre 1991 a 1993 se utilizaron 243 trampas con feromonas y liberador de kairomonas de la caña de azúcar impregnadas en insecticida para controlar a la plaga *R. palmarum*, y obtuvieron una captura media de 32.4 por trampa en los primeros siete meses de trapeo, y reduciendo hasta en un 50% la incidencia de nematodo después de los primeros 5 meses de trapeo. En un programa similar ubicado en Quepos, Costa Rica, pero con 8700 hectáreas en donde presentaba una alta infestación de *R. palmarum* en la plantación la cual disminuyó drásticamente bajo el trapeo masivo en los tres años de estudio, alcanzando densidades muy bajas para el año 2001 (El-Sayed, Suckling, Wearing & Byers, 2006).

En otra investigación realizada por Refki *et al.* (2016), en el cultivo de tomate para el manejo de la plaga *Tuta absoluta* (Lep: Golenchiidae), probaron diferentes tratamientos con distintas trampas, entre los que se encontraba trampas con feromona y diferentes componentes dentro de estas; entre los componentes se encontraban: agua con aceite vegetal, sin aceite, con y sin luz, entre otros. De los distintos componentes probados, fue la trampa con feromona y agua con aceite la que obtuvo mejores resultados, sin la necesidad de uso de factores extra como la luz.

Otro caso similar al estudio anterior ocurrió en la investigación realizada por Lobos *et al.* (2013) para el manejo de *T. absoluta*, donde se realizaron pruebas con diferentes tipos de trampas con feromonas en diferentes zonas geográficas y distintos ambientes productivos. En este se evaluaron cuatro tipos de trampas: trampa de captura universal, tipo ARG, tipo delta y trampa de recipiente abierto, de las cuatro anteriores la trampa tipo ARG era la única que contenía aceite de motor con agua. Esta última fue la que obtuvo mejor eficacia de captura según cantidad de captura por superficie de entrada; además se menciona que se presentó mayor captura en trampas con contenido de aceite en comparación con agua, ya que existe una menor eficiencia de retención de insectos en trampas con agua que con aceite, igualmente siendo al aceite un líquido de menor tasa de evaporación.

Una investigación realizada por Shah & Jhala (2017), en el cultivo de tomate se evaluó el manejo de *Helicoverpa armígera* (Lep: Noctuidae) con tres tratamientos de 30, 40 y 50 trampas con feromonas

por hectárea en dos años consecutivos de cultivo. Durante el ensayo se determinó que el uso de 40 trampas/ha mostró los mejores resultados con los menores índices de huevos y larvas en las plantas y daño en fruto. En un ensayo realizado en el cultivo de maíz por Kuniyoshi (2002), se determinó un mayor daño por parte de *Spodoptera frugiperda* (Lep: Noctuidae) en una parcela sin tratamiento con feromonas, afectando significativamente en cuanto a cantidades de mazorca con gusanos de la plaga, indicando una menor incidencia de gusano en tratamientos con feromonas sintéticas.

Con las evidencias anteriores se ejemplifica la importancia que ha tomado el uso de feromonas sexuales sintéticas en la agricultura para el manejo de importantes plagas alrededor del mundo. Este implica diseños aplicados conforme a las características del cultivo y de los insectos con el fin de una mejor ejecución de la práctica y la mejor obtención de resultados posibles, evitando propagaciones futuras y manteniendo sus poblaciones bajo el umbral de daño.

3.7. Factores limitantes

A pesar de que el uso de feromonas ha venido ganando terreno en el área de manejo de plagas, existen algunos factores que influyen negativamente que dicha alternativa aún no haya consolidado por completo en la industria. Uno de los factores limitantes es que las feromonas, por lo general, son específicas a nivel de especie, ya que solo sirven para manejar una especie, y en ocasiones existen variaciones entre la misma especie, por lo que se necesita un desarrollo a nivel local de las poblaciones (Cotes, 2018).

Por otro lado, hay una falta de interés por parte de los agricultores, ya que existen pocos incentivos por parte del gobierno para promover la adopción de nuevas tecnologías. Incluso, en algunos casos los altos costos de tecnología necesaria para la producción de las feromonas sintéticas resulta ser un factor determinante. Estas dependen de la cantidad a producir, por lo que, si se producen a gran escala, se pueden obtener resultados con productos comercialmente más viables y a costos más bajos (Witzgall *et al*, 2010; Cotes, 2018).

A nivel del producto como tal, las feromonas utilizadas en trampeo masivo se debe prestar gran atención en la síntesis química y a la difusión de sus compuestos para una mejor eficiencia del producto. En cuanto a la síntesis química se requiere de cuidadosa verificación de los compuestos, y en la difusión se necesita del uso de dispositivos que emitan correctamente las cantidades necesarias de las feromonas, por lo que con bajas tasas de difusión la efectividad de las feromonas se ve afectada y por ende se da una

baja en las capturas (Ramírez, 1996). La densidad de la plaga, riesgo de inmigración y; características alimenticias podrían repercutir en la obtención de resultados satisfactorios del trampeo masivo en la agricultura, incluso en la investigación y componentes necesarios para cada tipo de plaga, cultivo y feromona a ser evaluada (El-Sayed *et al.*, 2006).

3.8. Aspectos económicos

Al ser Costa Rica un país ubicado geográficamente en el trópico, el manejo de plagas se dificulta más en comparación con otras partes del planeta; por lo que la inversión económica para el manejo de la plaga se verá afectada en su costo total. Además, no solo la región influye, sino también la estrategia de manejo resulta muy importante. El uso de insecticidas es recurrente en la mayoría de las estrategias, sin embargo, con el manejo agroecológico de plagas (MAP), suele ser menor, cuando se utilizan productos como las feromonas sexuales sintéticas y entre otros. Esto se refleja en el costo económico, tal y como lo reporta Zalucki *et al* (2012), donde en datos de Norte y Centroamérica los costos para el manejo de *P. xylostella* en repollo se cuadruplican cuando son tratados únicamente con insecticidas químicos en comparación con cultivos tratados con trampeos masivos de feromonas sintéticas y otras alternativas bajo la estrategia de MAP.

En otro estudio realizado por Topagi *et al.* (2018), en repollo, se estudiaron dos tratamientos distintos el cual uno consistía en el uso de feromonas sintéticas y el otro en la aplicación de insecticidas, cada uno fue realizado en dos épocas del año diferentes y en ambas la producción de repollo y el ingreso económico neto fue superior en el tratamiento con trampeo masivo. Caso similar ocurrió en el estudio realizado por Prasad & Guerrero (2000), en donde el costo de inversión fue menor en el tratamiento usando feromonas comparado con el tratamiento con insecticidas convencionales, además de un ingreso económico mayor. Por lo que el uso de tratamientos que incluyan feromonas sexuales sintéticas ya sea como trampeo masivo o bajo una estrategia de MIP, resultará mucho más favorable debido a un menor costo de inversión y mayor ingreso económico por área.

4. Metodología

4.1 Ubicación y características agroclimáticas de la zona

La investigación se realizó en época lluviosa, entre los meses de junio y octubre del año 2020. Se ubicó en los distritos de Capellades y Pacayas en el cantón de Alvarado, provincia de Cartago. Se utilizaron seis parcelas productoras de repollo; tres por cada tratamiento.

La localidad de Capellades se encuentra a una altitud de 1610 m s.n.m., sus coordenadas corresponden 09 ° 54 latitud Norte y 83 ° 47 longitud Oeste, con un promedio anual de lluvia de 215.95 mm, siendo noviembre el mes más lluvioso (Instituto Meteorológico Nacional [IMN], 2020). En el caso de la localidad de Pacayas, se encuentran en las coordenadas 09° 56' 46" latitud Norte y 83° 48' 08" longitud Oeste. Presenta una altitud de 1735 m s.n.m., con una temperatura promedio de 16.7°C. La precipitación promedio ronda los 227,76 mm, siendo octubre el mes más lluvioso con 275.1 mm. Se ubica dentro de la zona de vida Bosque muy Húmedo Montano Bajo (Instituto Nacional de Desarrollo Rural [INDER], 2014).

Las parcelas son próximas entre sí, los suelos de las parcelas experimentales se clasifican como andisoles que se caracteriza por ser de origen volcánico, contar con altos valores de materia orgánica; suelen ser de texturas medias que hace que tenga débil estructuración y drenajes de buenos hasta excesivos (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2015).

A continuación, se presentan imágenes de las seis parcelas experimentales delimitadas, en estas se especifica el tratamiento utilizado y la ubicación:

Figura 7. Parcela 1, tratamiento de trampeo masivo
Capellades, Cartago



Fuente: Google maps.

Figura 8. Parcela 2, tratamiento control;
Capellades, Cartago.



Fuente: Google maps

Figura 9. Parcela 3, tratamiento de trampeo masivo
Capellades, Cartago



Fuente: Google maps.

Figura 10. Parcela 4, tratamiento control;
Capellades, Cartago.



Fuente: Google maps

Figura 11. Parcela 5, tratamiento de trampeo masivo
Pacayas, Cartago



Fuente: Google maps

Figura 12. Parcela 6, tratamiento control;
Pacayas, Cartago.



Fuente: Google maps.

4.2 Sistema de trapeo y tratamientos

4.2.1 Sistema de trapeo

Para la elaboración de los experimentos se utilizaron trampas tipo galón de 3.7 litros la cual contenían los septos impregnados con la feromona sexual comercial de *P. xylostella*. Estas son producidas por ChemTica Internacional S.A., su nombre comercial es P054-Lure, compuesto por Z-11-Hexadecenal, Z-11-Hexadecenil acetato y Z-11-Hexadecen-1-ol, y con un peso molecular de 238.4, 282.4, y 240.4 respectivamente. Los septos con dicha feromona comercial están diseñados para tener una duración de 90 días, por lo que no se requirió el cambio de los septos durante el periodo de estudio.

Los galones se fijaron firmemente a estacas o bastones de madera, que sostuvieron los galones plásticos, estos a una altura de aproximadamente 40 centímetros sobre el suelo, justamente sobre el dosel del cultivo, tal como lo muestra la figura 6. Las dimensiones del agujero de entrada de los insectos eran de aproximadamente 12 centímetros de largo por 8 centímetros de ancho, buscando que esta sea de tamaño mediano, ya que un agujero muy grande permitiría una salida o escape más fácil de los insectos una vez adentro, y una entrada muy pequeña se dificultaría la captura.

Se distribuyeron entre 50-60 trampas por hectárea para el tratamiento de trampeo masivo, y entre 3-6 trampas por hectárea para el monitoreo de la plaga, esto según el tamaño de cada parcela. En el interior de las trampas, se colocaron las feromonas sexuales sintéticas, sostenidas por un alambre en la parte superior central para la atracción de los machos adultos de la polilla (en la tapa del galón), además estas contenían agua preparada con 50 gramos de jabón en polvo comercial con el fin de romper la tensión superficial del agua y evitar que los insectos floten en la superficie. El agua jabonosa fue sustituida cada 15 días de ser necesario, lo anterior como recomendación del entomólogo de la empresa y basado en investigaciones previas.

Figura 13. Trampa tipo galón sobre el dosel del cultivo de repollo



Fuente: Francisco González, 2020

4.2.2 Tratamientos

Se seleccionaron cinco fincas productoras de repollo, en las cuales se seleccionaron seis parcelas de repollo recién trasplantadas; en tres de estas se evaluó el tratamiento control con manejo convencional con insecticidas; es decir, aplicaciones calendarizadas y/o *ad libitum* por parte del productor. En las otras tres parcelas se evaluó el trampeo masivo con la utilización de trampas con feromona sexual sintética de

P. xylostella distribuidas en toda la parcela; en este tratamiento también se realizaron aplicaciones de plaguicidas, pero únicamente cuando los monitoreos indicaran que era necesario y el productor así lo considerara; se basó en el umbral de 8 polillas/trampa/noche reportado por Reddy & Guerrero (2001), como indicador de acciones correctivas necesarias. Las dimensiones de cada finca fueron de distintas áreas debido a la dificultad de encontrar parcelas de igual tamaño; sin embargo, se contó con un promedio de área de 4500 m², en el siguiente cuadro (Cuadro 1) se detallan las características de las parcelas seleccionadas.

Cuadro 1. Descripción de parcelas; según área, tratamiento y cantidad de trampas de monitoreo.

Parcela	Área (m²)	Tratamiento	Cantidad de trampas de monitoreo
Parcela 1	3500	Trampeo masivo 1	6
Parcela 2	7000	Tratamiento control 1	6
Parcela 3	7000	Trampeo masivo 2	6
Parcela 4	3300	Tratamiento control 2	3
Parcela 5	3710	Trampeo masivo 3	6
Parcela 6	2130	Tratamiento control 3	3

Fuente: Elaboración propia

El tratamiento control se basó en el manejo convencional con insecticidas aplicados a criterio del productor para el manejo de la polilla. En dos de las tres parcelas se instalaron tres trampas de monitoreo y en la tercera parcela se instalaron seis trampas de monitoreo; esta disimilitud se dio por la diferencia en áreas de las parcelas. El objetivo de estas trampas fue monitorear semanalmente la cantidad de insectos capturados de *P. xylostella* en cada unidad experimental; dichas trampas se utilizaron en ambos tratamientos. Entre los productos utilizados por los productores se encuentran insecticidas del grupo de espinocinas y avermectinas, con 5-7 aplicaciones por ciclo de cultivo, según lo considerado por el productor, a un mínimo de 10 días entre aplicación, y con dosis de 0,2 L/Ha.

El tratamiento con trampeo masivo se basó en el manejo de la polilla con feromonas sexuales sintéticas. Para este tratamiento, además de las trampas utilizadas para el trampeo masivo como tal, se utilizaron 6 trampas de monitoreo por parcela en todos los casos, de las cuales estas últimas fueron las

utilizadas para el correspondiente conteo semanal. En este tratamiento las aplicaciones de insecticidas fueron limitadas ya que se dependió principalmente del trampeo masivo, y las aplicaciones químicas fueron realizadas según el criterio del productor apoyado por el monitoreo de las trampas, es decir, cuando se alcanzó el umbral de acción de 8 polillas/trampa/noche, con el fin de que el rendimiento productivo no resultara afectado.

4.3 Variables a evaluar

4.3.1 Conteo poblacional en las trampas de monitoreo

Se determinó la incidencia poblacional de la plaga para cada tratamiento establecido. Se realizó por medio del conteo manual *in situ* de los machos adultos de *P. xylostella* capturados en las trampas de monitoreo para cada tratamiento en cada parcela, siendo un total de 30 trampas de monitoreo distribuidas en las seis parcelas. Tanto estas como la evaluación del daño fueron elaboradas una vez realizado el trasplante y una semana después de instaladas las trampas.

Los datos se promediaron por parcela, colectados cada semana en horas entre la mañana y medio día y se tabularon en un documento de Excel detallando fecha de conteo y la cantidad para cada trampa de cada finca. Con esto se recolectaron datos semanales que indicaban la dinámica poblacional de la plaga y su promedio encontrado para cada tratamiento.

4.3.2 Evaluación de lesiones en las plantas

Las lesiones en el cultivo fueron evaluadas mediante observaciones aleatorias de 20 plantas de repollo semanalmente, lo más dispersas y equidistantes entre estas, respetando el efecto borde en las parcelas, el cual consistió en no tomar en cuenta las plantas que se encuentran en los bordes de la plantación. La disposición de las plantas en las parcelas fue aproximadamente de 20 centímetros entre planta y 1.30 centímetros entre hileras, dicha disposición fue muy similar entre parcelas.

Las mediciones fueron realizadas cada semana a partir de las trampas instaladas, se promediaron los porcentajes de daño de las 20 plantas por parcela. Se tabularon los datos en un documento Excel, detallando el porcentaje de daño por planta por unidad experimental promediando el porcentaje de las 20 plantas muestreadas, y la respectiva fecha de evaluación.

Una vez establecidos los porcentajes de daños, estos fueron llevados a un valor de la escala utilizada por Schuster, Workman & Chalfant (1984) donde sus niveles van del 1 hasta el 6 con su respectivo valor porcentual. El nivel 1 indicará plantas sin daños aparentes y el nivel 6 plantas con área foliar con alto daño (31-100%) (Cuadro 2). Los valores fueron asignados por observaciones realizadas en campo, y los datos se promediaron en cada parcela según el porcentaje de daño percibido. Ambas variables fueron evaluadas durante 12 semana, lo que correspondió a la duración del ciclo productivo del repollo.

Cuadro 2. Escala de daño en repollo

Nivel	Descripción y porcentaje de daño
1	Sin daños aparentes
2	0-1% de consumo de área foliar, sin daño en la cabeza
3	2-5% de consumo de área foliar, sin daño en la cabeza
4	6-10% de consumo de área foliar y menor daño en cabeza
5	11-30% de consumo de área foliar con moderado daño en la cabeza
6	31-100% de consumo de área foliar con alto daño en la cabeza del repollo

Fuente: Evaluation of a visual damage threshold for managment of lepidopterous larvae on cabbage with pyrethroid insecticides, Schuster, D.J., Workman, R.B. & Chalfant, R.B (1984)

4.4 Análisis económico

Para el análisis económico se contempló el costo de cada tratamiento en relación a la inversión de los métodos utilizados para el manejo de la plaga, el mantenimiento, instalación, mano de obra, así como el beneficio económico de los rendimientos productivos encontrados. Los costos fueron separados según tratamiento; en el tratamiento de trampeo masivo se contemplaron las feromonas sexuales sintéticas utilizadas en cada parcela, el costo de los insecticidas, además de los objetos utilizados para su instalación y mantenimiento. Para el tratamiento con manejo convencional, se contempló el costo de los insecticidas aplicados y el número de aplicaciones, también se incluyó las trampas con feromonas de monitoreo utilizadas.

Los datos de las aplicaciones químicas se ordenaron en una tabla según parcela, tratamiento, área, inversión y costo en colones/ m^2 , y con ello se construyeron gráficos para visualizar la diferencia de

costos por plaguicidas químicos. El costo de las feromonas y trampas fue reportado por la empresa ChemTica, con esto se determinó el gasto por cada parcela según los precios de la empresa y la cantidad utilizada. El costo fue sumado a la inversión por plaguicidas, y posteriormente se realizó la comparación del costo total entre tratamientos.

Para la estimación del beneficio económico, se consultó los rendimientos productivos de cuatro parcelas, dos de cada tratamiento, en las otras dos parcelas se dificultó la obtención de la información respectiva por parte de los productores. Con esto se compararon datos entre tratamientos según producción, el cual se contempló la diferencia de kilogramos cosechados por metro cuadrado entre tratamientos. Seguido a esto se procedió a establecer la diferencia de rendimientos a nivel de hectárea, dicha diferencia se tradujo al beneficio económico comercializando el producto a un precio promedio de referencia establecido a nivel nacional por el Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA) en el 2021.

4.5 Diseño experimental

La estructura de los tratamientos es bifactorial con interacción debido a que se probará el efecto de los tratamientos a través del tiempo, a partir de la dinámica poblacional del insecto. En cuanto a la unidad observacional corresponde a cada trampa, y cada unidad experimental cuenta con tres o seis unidades observacionales (cada trampa de monitoreo), con un total de tres unidades experimentales por cada tratamiento.

En cuanto a la estructura de la parcela se utilizará un diseño completamente aleatorizado (DCA) debido a que no existe ningún criterio que pueda influir en la variabilidad de las unidades experimentales.

4.6 Análisis estadístico

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta estudiada (conteo de adultos y porcentaje de daño), se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas en el tiempo bajo la teoría de los modelos lineales mixtos. El modelo lineal para el experimento bifactorial fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

con: $i = 1, 2, \dots, 12$. $j = 1 \dots 12$. $k = 1 \dots 3$

Con

Y_{ijk} : variable de respuesta del i -ésimo tratamiento, j -ésimo semanas de conteo y la k -ésima repetición.

μ : media general

α_i : efecto de la i -ésimo tratamiento.

γ_j : efecto de la j -ésimo tiempo de evaluación

δ_{ij} : efecto adicional (interacción) para la combinación de los niveles i del tratamiento y j tiempo de evaluación.

ε_{ijk} : término de error que se distribuye normal independiente con media cero y varianza constante.

Se utilizó el programa estadístico InfoStat para comprobar los supuestos del ANOVA con gráficos diagnósticos (cuantiles de los términos de error, gráficos de residuos y gráficos de residuos vs. predichos) y se escogerá el mejor modelo en función de los criterios de Akaike (AIC) y de información Bayesiano (BIC). En las variables donde existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizará las comparaciones de medias por medio de la prueba de Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($p \leq 0.05$) permitiendo la formación de grupos excluyentes y no transición entre tratamientos.

5. Resultados

5.1. Cantidad de adultos capturados por tratamiento en las respectivas trampas de monitoreo

La cantidad de insectos capturados a lo largo de la evaluación contó con variaciones en cuanto a su promedio. Factores como la edad de cultivo, tratamiento correspondiente, prácticas utilizadas por cada productor y condiciones climáticas influyeron en los resultados obtenidos en cada unidad experimental, y por tanto en cada tratamiento. En el conteo semanal de trampas, se obtuvieron capturas por trampa mayoritariamente de la plaga de interés, sin embargo, cabe rescatar que también se capturaban otros insectos, pero estos sin ser contabilizados; la identificación de los adultos de *P. xylostella* se logra apreciar en la figura 15.

Figura 14. Trampa tipo galón sobre el dosel del cultivo



Fuente: Propia

Figura 15. Capturas de adultos de *Plutella xylostella*

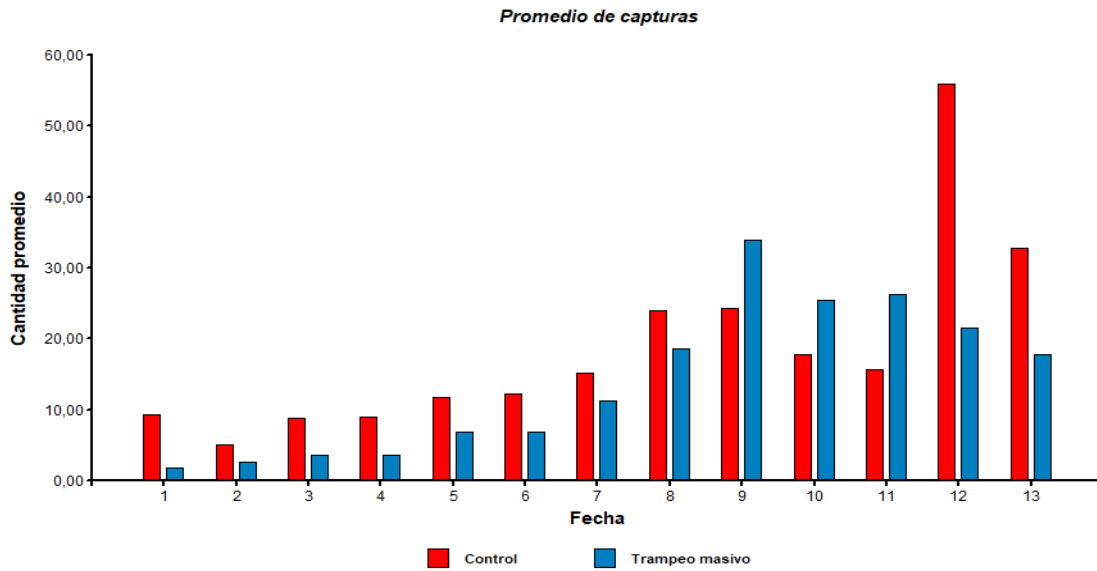


Fuente: Propia

Al obtener capturas constantes cada semana se logró obtener datos semanales para cada tratamiento, evidenciando las variaciones de los datos cada vez que se realizaban las mediciones. En la figura 16 se aprecia una tendencia al aumento gradual de las capturas conforme el cultivo se desarrollaba, además en la mayoría de las fechas evaluadas se presentó una ligera diferencia de capturas, siendo

superior del tratamiento control con respecto al tratamiento de trampeo masivo, a excepción de las fechas 9, 10 y 11 que ocurrió lo contrario.

Figura 16. Promedio de capturas según tratamiento y fecha de evaluación



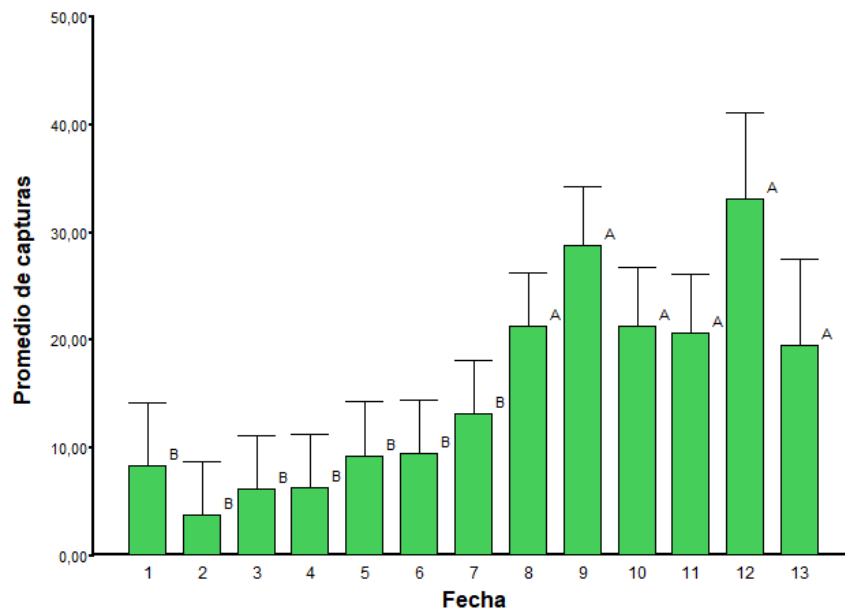
Para el promedio obtenido según tratamiento utilizado no se logró encontrar una diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre estos durante el período de evaluación, a pesar de que en la mayoría de las fechas se presentó una tendencia mayor de captura para el tratamiento control. Sin embargo, cabe rescatar que la media de captura para el tratamiento control fue de 18.01, y para el trampeo masivo fue de 12.99, con un error estándar de 4.18 y 4.24 respectivamente, contando el tratamiento control con medias ligeramente superiores al trampeo masivo, mas no para considerarse una diferencia significativa. Los intervalos de confianza para la captura promedio de los tratamientos se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Intervalo de confianza para la captura promedio de *P. xylostella* para cada tratamiento

Tratamiento	Medias	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Control	18.01	4.18	9.82	26.20
Trampeo masivo	12.99	4.24	4.68	21.30

A pesar de no representar una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos en cuanto a la captura de adultos de *P. xylostella*, sí se obtuvo un aumento gradual de las capturas según iba avanzando las fechas existiendo una diferencia significativa entre fechas ($p = 0.0036$). En la figura 17, se muestra el crecimiento gradual conforme avanza el tiempo y etapa de desarrollo de las plantas, en este se muestra cómo se forman dos grupos con diferencias significativas entre ellos. A partir de la fecha 1 hasta la 7 no existió diferencia significativa de capturas entre estas fechas, presentando un promedio de 8.1 de capturas por fecha, sin embargo, a partir de la fecha 8 hasta la última fecha de mediciones se presentó un aumento significativo de capturas con un promedio de 24.13 de capturas por fecha, independientemente de los tratamientos, demostrando un claro aumento de la población de las polillas conforme avanzaba el ciclo productivo, independientemente del tratamiento, siendo este un comportamiento a considerar de la plaga.

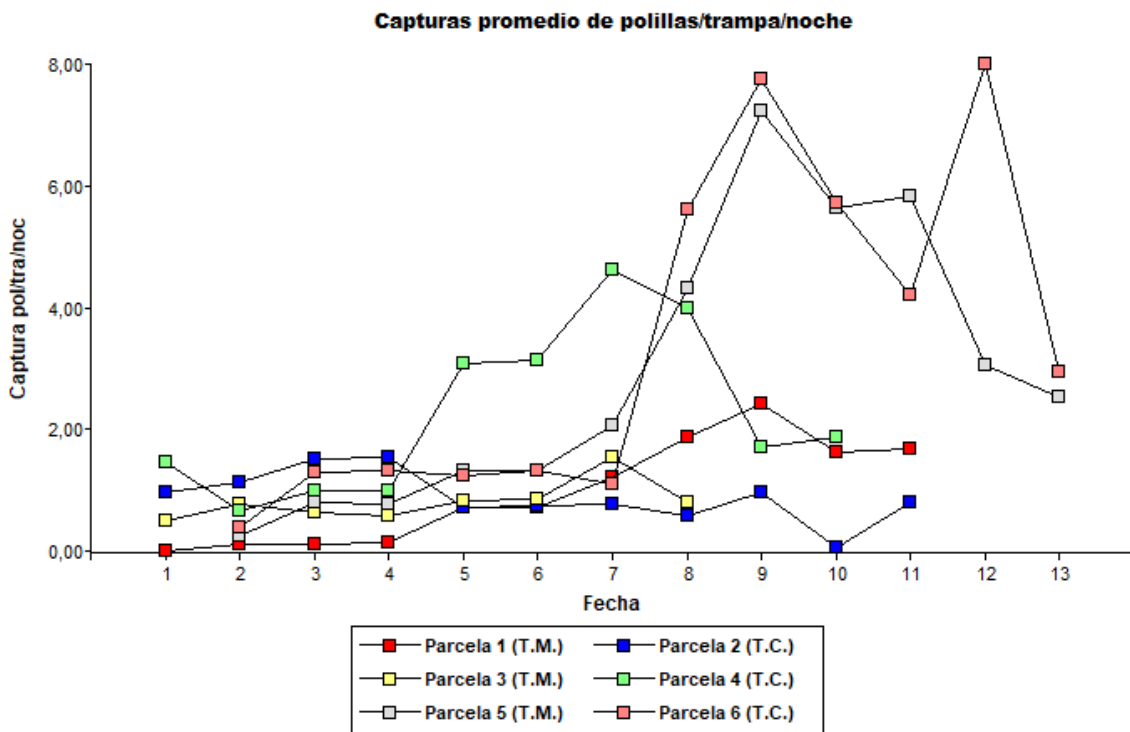
Figura 17. Promedio de capturas de adultos según fecha. Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).



Cada finca también obtuvo un promedio de capturas (polillas/trampa/noche), la cual mostró el comportamiento en cuanto a la dinámica poblacional de la plaga en el cultivo. En la figura 18 se logra apreciar cómo, independientemente del tratamiento, la dinámica poblacional iba en aumento conforme las plantas desarrollaban área foliar; sin embargo, se logra observar en todas las fincas que en diferentes

semanas de evaluación dicho promedio disminuye, incluso en varias ocasiones, lo cual se explica por las aplicaciones de insecticidas con el objetivo de mantener la plaga en poblaciones que no afectara los rendimientos del cultivo. Dicho lo anterior, en la figura 18 se muestra un promedio de las polillas capturadas por trampa por noche para cada semana evaluada, el promedio de polillas/trampa/noche por tratamiento fue de 1.67 para el trampeo masivo, y de 2.20 para el tratamiento control, promedios muy por debajo del umbral de acción de 8 polillas/trampa/noche.

Figura 18. Promedio de captura de polillas/trampa/noche según parcela y semana de evaluación. TM: trampeo masivo; TC: tratamiento control.



5.2. Evaluación promedio de daño en las plantas.

Se presentó una tendencia de daño que se agravaron gradualmente durante el ciclo productivo. Se lograron observar lesiones de daño leves y graves en la mayoría de las fechas evaluadas, pero no para poner en riesgo la productividad del cultivo, esto debido a que dichas lesiones tanto en etapas tempranas como avanzadas por lo general afectaban hojas nuevas o externas y no precisamente la cabeza del repollo,

esto en etapas más desarrolladas, y en el caso de etapas tempranas de la planta se presentaron orificios a causa de la plaga, pero sin representar daños significativos.

El tamaño de dichas lesiones varió dependiendo de la severidad del daño específico en la planta, variables como el tratamiento y manejo influyeron. Cabe rescatar que también se observaron diversos daños como necrosis u otras patologías, lo cual pudo intensificar el nivel de daño en las plantas; sin embargo, solo se evaluaron las lesiones ocasionadas por la plaga en estudio.

Figura 19. Planta joven con lesiones leves por *P. xylostella*. **Figura 20.** Planta de edad avanzada con pequeñas lesiones en la cabeza, lesiones de escala 4 según severidad



Fuente: Propia



Fuente: Propia

Figura 21. Planta con lesiones severas en hojas externas y cabeza, escala 6.



Fuente: Propia

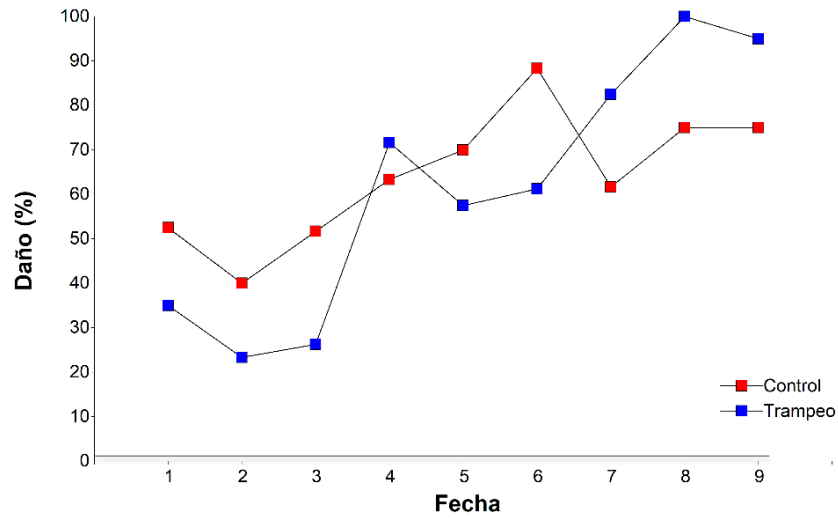
Figura 22. Larva en estadio 3 de *P. xylostella*.



Fuente: Propia

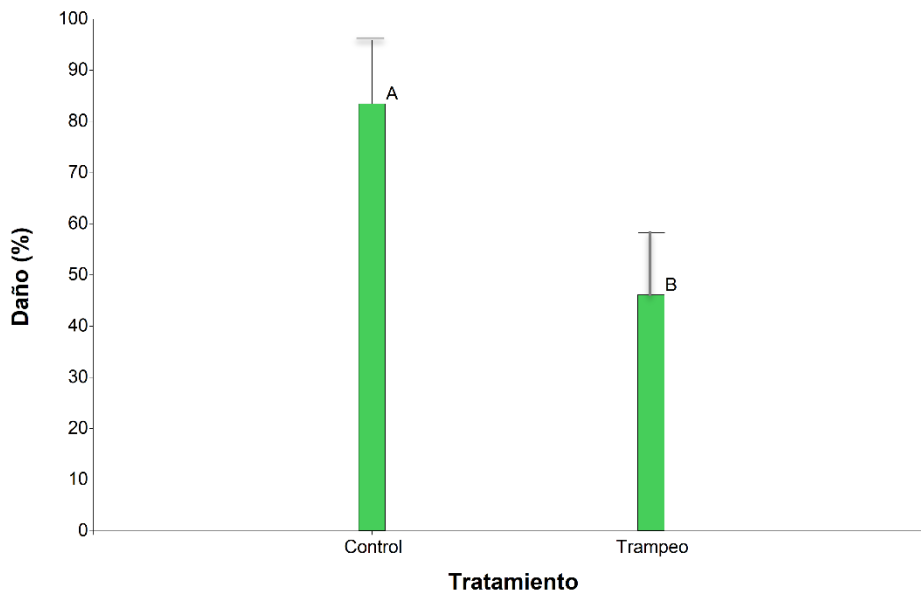
Los porcentajes obtenidos del daño en las plantas evaluadas mediante la escala de Schuster, *et al* (1984), resultaron ser un poco ambiguos en cuanto a la diferencia del porcentaje de daño entre tratamientos, tal y como se muestra en la figura 23. Al principio de las mediciones, se obtuvieron resultados con menor daño para el tratamiento de trampeo masivo en comparación que el tratamiento control, pero al final se presentó un comportamiento contrario al anterior. Cabe rescatar que se presentaron ciertas implicaciones que dificultaron la evaluación del daño durante dos semanas a causa de la pandemia del Covid-19.

Figura 23. Porcentaje de daño en las parcelas correspondientes a ambos tratamientos a través del período de evaluación



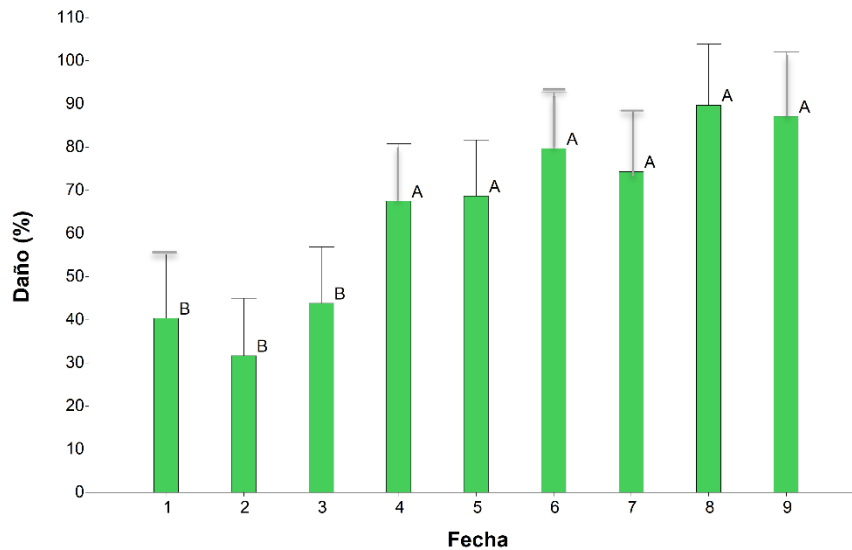
A pesar de la ambigüedad anterior, se decidió realizar un análisis que tomara en cuenta el porcentaje de plantas dañadas por cada unidad experimental, con esto se comparó la totalidad de los datos correspondientes a cada tratamiento, resultando en una diferencia significativa entre los tratamientos; un mayor daño en el caso del tratamiento con control químico en comparación con el daño en el tratamiento con trampeo masivo.

Figura 24. Gráfico de barras para el promedio porcentual de daño en repollo según tratamientos: Control = insecticidas químicos y Trampeo masivo = feromonas sexuales. Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).



Importante de mencionar que el porcentaje de daño encontrado tuvo un aumento gradual conforme al desarrollo del cultivo, donde se logra apreciar las tres primeras fechas de evaluación con porcentajes menores y con diferencias significativas conforme a las siguientes fechas donde el crecimiento y desarrollo del cultivo aumentaba cada vez más, por lo que coinciden con un estado más avanzado de las plantas de repollo.

Figura 25. Promedio porcentual de daño, según fecha de evaluación durante período de estudio. Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).



Lo anterior ratifica que el daño fue aumentando conforme avanzaba la edad del cultivo independientemente del tratamiento utilizado, ya fuera el control o el trampeo masivo, por lo que es posible que la etapa fenológica influya en una mayor incidencia de la plaga en las plantas, según las observaciones realizadas. Incluso, existieron otros factores que afectaron una mayor incidencia de adultos en ciertas parcelas, esto debido a malos manejos postcosecha de parcelas aledañas a las parcelas de estudio: por ejemplo, al dejar material vegetal descomponiéndose en el terreno, acción que podría haber aumentado de forma significativa los adultos de la plaga, y los daños ocasionados, prolongándose por varias semanas hasta que existió un manejo químico por parte de los encargados.

Figura 26. Restos de cosecha de parcela contigua a unidad experimental.



Fuente: Propia

Este daño fue evidenciado en las plantas durante las diferentes etapas del cultivo, principalmente en hojas externas y en la cabeza del repollo, este último era el que afectaba la calidad y por consiguiente la comercialización del repollo. Los diferentes daños observados variaron en cuanto a tamaños y características, algunos presentaban consumo interno de las hojas formando minas, además de orificios completos, consumo de envés o haz de la hoja, incluso en otras partes de la planta como tallo y brotes, pero en menor medida; dichos daños son ocasionados por los diferentes estados larvales de la plaga.

Figura 27: Afectación notoria en la cabeza del repollo; orificios grandes y pequeños tanto en cabeza como hojas externas.



Fuente: Propia

Figura 28: Afectación en hoja; orificios completos, consumo del envés.



Fuente: Propia

5.3 Aspectos económicos

Al tomar en cuenta los costos estimados de cada insumo utilizado, ya fuera las feromonas y/o los insecticidas químicos, y según el tratamiento, se logró obtener una inversión económica menor para el tratamiento con trapeo masivo, debido a una menor dependencia y por consecuente menor uso de productos químicos convencionales, que suelen ser considerablemente costosos, en comparación con feromonas sexuales sintéticas. A pesar de un mayor uso de trampas con feromonas en el tratamiento de trapeo masivo, este no resultó ser lo suficientemente costoso para superar al tratamiento convencional. Lo anterior se detallará con información completa a continuación.

5.3.1 Productos de manejo

En el cuadro 4 se detalla cada parcela con su respectivo tratamiento, área, inversión en plaguicidas (incluye mano de obra y demás instrumentos de aplicación), y el costo por cada metro cuadrado de siembra, el cual es el principal parámetro para determinar el costo de cada tipo de manejo invertido por cada uno de los productores en sus parcelas. Los datos consultados en cuanto a la inversión en plaguicidas fueron reportados por cada productor, y representa un valor aproximado del mismo.

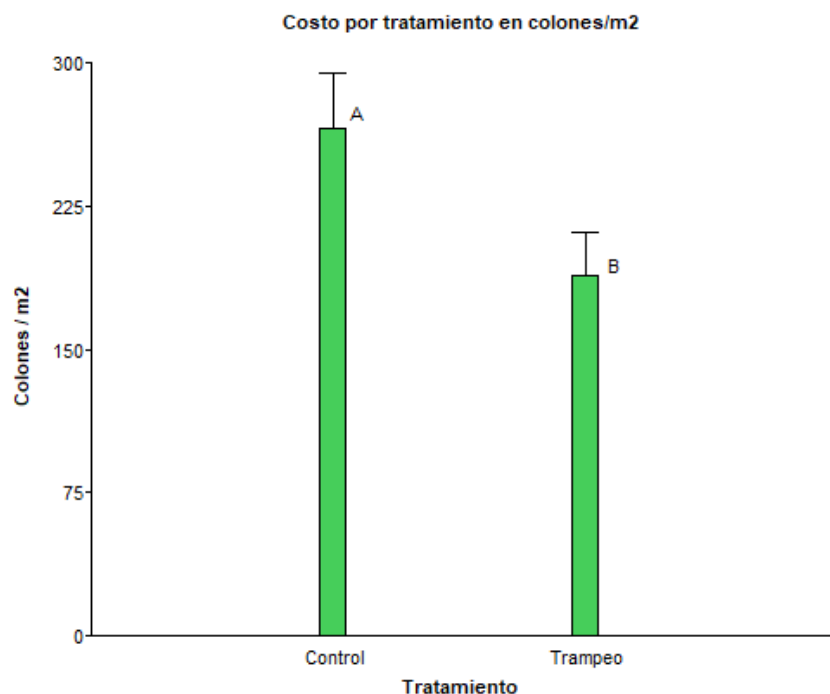
Cuadro 4: Inversión en plaguicidas realizada por cada productor para el control de *Plutella xylostella*.

Tratamiento	Área (m^2)	Inversión en plaguicidas (incluye mano de obra y otros utensilios)	Colones / m^2
Trampeo masivo 1 (Parcela 1)	3500	643.000	184
Trampeo masivo 2 (Parcela 3)	7000	1.477.000	211
Trampeo masivo 3 (Parcela 5)	3710	629.398	170
Tratamiento control 1 (Parcela 2)	7000	1.890.000	270
Tratamiento control 2 (Parcela 4)	3300	792.000	233
Tratamiento control 3 (Parcela 6)	2130	629.398	295

Fuente: Propia

El cuadro anterior nos permite obtener el precio base en cuanto al metro cuadrado según inversión y el área de la parcela, y con esto poder obtener un promedio para cada tratamiento y determinar cuál de los dos tiene un costo por metro cuadrado más elevado. Dicha comparación se realizó en la siguiente figura, esta muestra cómo el tratamiento control con promedio de 266 colones/ m^2 es superior a los 189 colones/ m^2 del tratamiento con trampeo masivo con aplicaciones de plaguicidas complementarias.

Figura 29: Gráfico de barra del costo promedio de aplicaciones de plaguicidas por metro cuadrado, según tratamiento. Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).



De acuerdo con la figura 29 sobre los costos del tratamiento a base de plaguicidas (aplicados a las diferentes parcelas); fue significativamente mayor a los costos del tratamiento de trampeo masivo con las feromonas. Lo es en el caso del trampeo masivo que se establecieron costos aproximados tanto de las feromonas, trampas, y proceso de instalación y mantenimiento.

En total se utilizaron 91 feromonas utilizadas (monitoreo y trampeo), con sus respectivas trampas. El costo estimado de cada feromona fue de \$1,20 y para las trampas (galón y madera) fue de \$1,50, lo cual representa \$109,2 y \$136,5 respectivamente para el total de trampas utilizadas, además de un total de \$90 por concepto de instalación y mantenimiento (mano de obra) para el total de parcelas, entre estos gastos se incluyen diferentes accesorios para la instalación, así como el agua y jabón para labores de mantenimiento. Considerando el total de costos (feromonas, trampas, mantenimientos e instalación), se detalla la inversión para cada parcela.

Cuadro 5: Costos totales (feromonas, trampas, mantenimiento e instalación) para cada parcela de estudio

Tratamiento	Cantidad total de trampas (monitoreo + trampeo) *	Costo (\$) de feromonas y trampas	Costo total por parcela (precio en \$)
Trampeo masivo 1 (Parcela 1)	18*	21.6 feromona	63.6
		27 trampa	
Trampeo masivo 2 (Parcela 3)	42*	50.4 feromona	128.4
		63 trampa	
Trampeo masivo 3 (Parcela 5)	19*	22.8 feromona	66.3
		28.5 trampa	
Tratamiento control 1 (Parcela 2)	6	7.2 feromona	31.2
		9 trampa	
Tratamiento control 2 (Parcela 4)	3	3.6 feromona	23.1
		4.5 trampa	
Tratamiento control 3 (Parcela 6)	3	3.6 feromona	23.1
		4.5 trampa	

Nota: Al costo total por parcela se incluye \$15 del costo de instalación y mantenimiento aproximado. El precio está basado en dólares americanos. Fuente: Propia

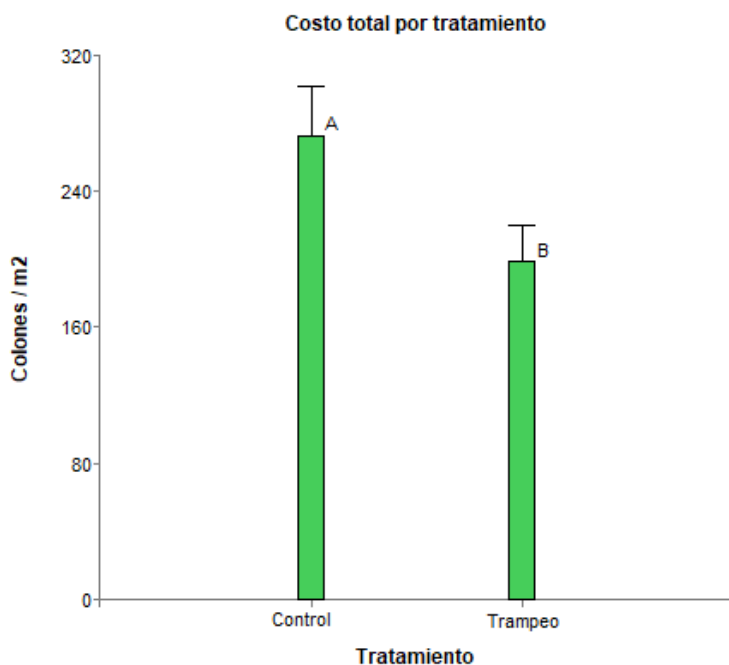
Con los costos anteriores de las feromonas y trampas por cada parcela, se convirtió a dólares estadounidenses a un precio de 665 colones, con ello se sumaron los costos de plaguicidas químicos para contemplar el costo total incurrido por cada parcela para el manejo de la plaga, detallado en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Inversión total (feromonas + plaguicidas) para el manejo de *P. xylostella* en cada parcela.

Tratamiento	Área (m^2)	Inversión total (feromonas + plaguicidas)	Colones / m^2
Trampeo masivo 1 (Parcela 1)	3500	685.294	195,7
Trampeo masivo 2 (Parcela 3)	7000	1.562.386	223
Trampeo masivo 3 (Parcela 5)	3710	673.487	181,5
Tratamiento control 1 (Parcela 2)	7000	1.910.748	273
Tratamiento control 2 (Parcela 4)	3300	807.361	244,6
Tratamiento control 3 (Parcela 6)	2130	644.759	302,7

Los costos en colones del m^2 para la inversión total por parcela presentaron una tendencia similar a la anterior donde el tratamiento control presentó un costo mayor, y para este caso el costo por metro cuadrado por tratamiento control también fue superior, mostrando una diferencia significativa entre ambos, por lo que para ambas situaciones el trampeo masivo fue económicamente más rentable.

Figura 30: Gráfico de barras para el costo promedio del total de inversión (feromona + plaguicidas) para el manejo de *P. xylostella* por metro cuadrado. Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).



5.3.2 Beneficio económico

Para el caso del beneficio o ganancia económica, basado en los rendimientos obtenidos por cuatro parcelas, resultaron superiores los de las parcelas bajo el tratamiento de trampeo masivo comparado con el tratamiento control. En las parcelas con trampeo masivo se obtuvo 0.05 kilogramos más de repollo comercializable por cada metro cuadrado, resultando en 500 kilogramos más de repollo por hectárea para este tratamiento. A nivel comercial, dicho dato de 0.05 kilogramos más de repollo cosechado entre tratamientos, y a un precio de 185 colones/kg, basado en el informe de precios actualizado de PIMA (2021), en el mercado se traduciría en 92.500 colones por hectárea.

6. Discusión

6.1. Evaluación del uso de feromonas sexuales sintéticas mediante la aplicación de dos tratamientos distintos como alternativa al manejo de *P. xylostella*.

Se sabe que la efectividad de las feromonas sexuales para el manejo de insectos plaga ha venido ganando interés como alternativa complementaria al manejo convencional, por lo que estas sustancias modificadoras del comportamiento de los insectos son valiosas debido a que se pueden adicionar diversos métodos para el manejo de plagas agrícolas (Calyecac-Cortero *et al.*, 2002). El uso de feromonas sexuales sintéticas para la captura de adultos de *P. xylostella* en repollo en la zona de Cartago, resultó ser positivo tanto para la captura de insectos como en la disminución del daño observado en el cultivo, a pesar de que las capturas obtenidas entre tratamientos no presentaron una diferencia significativa, si existió una tendencia de mayor captura en el tratamiento control, además de un mayor daño en este mismo tratamiento, por lo que en términos generales el tratamiento con trapeo masivo fue más favorable a nivel productivo para los productores.

Si bien el trapeo masivo no prescinde del uso de insecticidas, sí permite reducir las aplicaciones de manera que se baje la carga química en el cultivo, excepto en el evento de una alta infestación de la plaga que obligue a un manejo más inmediato. No obstante, se trata de una alternativa sostenible y de bajo impacto ambiental. Por lo que es decisión de cada productor el uso de esta alternativa como complemento para el manejo de la plaga, y a su vez generar responsabilidad social hacia los consumidores finales del producto.

6.2. Capturas de adultos en trampas para monitoreo

Para el promedio obtenido según el tipo de tratamiento utilizado no se evidenció una diferencia significativa entre estos durante el período de evaluación; sin embargo, sí existió una diferencia no significativa que muestra una mayor captura por parte de las unidades experimentales que contaban únicamente con trampas de monitoreo correspondientes al tratamiento de manejo convencional, resultando una densidad poblacional de la plaga menor en las parcelas con trapeo masivo, la cual contaban con mayor cantidad y distribución de trampas, cubriendo mayor área en cada parcela.

6.2.1. Métodos de captura utilizados

En cuanto a los recipientes utilizados un estudio realizado por Calyecac-Cortero *et al.*, (2002), logró determinar que el tipo de envase con mayor promedio de capturas fue el galón de plástico (3.75 L), comparados con envases de menor capacidad, siendo los galones de plástico más efectivos ya que estos incrementan la capacidad de captura. Dicho estudio se realizó tanto en invierno como en primavera por lo que la temporada no influyó en la efectividad del recipiente, añadiendo que el constante cambio de agua jabonosa saturada de palomillas permite un continuo funcionamiento de las trampas, acción que se realizó constantemente en el presente estudio, todo lo anterior permitió tener constantes y significativas capturas de polillas. Cabe rescatar que en algunas ocasiones la estaca que sostenía el galón con el agua se rompía o las trampas se volcaban a causa de una mala fijación en el suelo, por lo que se podría considerar la utilización de otro tipo de material o bien asegurarse de la correcta colocación de las trampas para evitar afectar la captura de polillas.

En el caso de la densidad de trampas utilizada fue entre 40-60 por hectárea para el tratamiento de trampeo masivo (Imran *et al.*, 2019). Esta es de suma importancia para una adecuada captura de polillas, además para que estas tengan una distancia prudente entre cada una, incluso optimizar el uso de los recursos económicos sin necesidad de exceder los costos correspondientes al uso del trampeo masivo.

6.2.2. Comportamiento de la plaga

Los insectos con dietas específicas como lo es *P. xylostella*, que se alimenta exclusivamente de crucíferas, ya sea cultivos establecidos como repollo, coliflor, mostaza o arvenses de la misma familia botánica, tienden a ser más sensibles a variaciones espaciales en cuanto a plantas huésped que insectos generalistas ya que estos últimos tiene una capacidad mayor de adaptarse y alimentarse de distintas plantas en diferentes hábitats (Bragga & Rezende, 2015).

Al ser *P. xylostella* un insecto fitófago especialista de crucíferas, ocurre que cuando el cultivo no está establecido, la presencia de este es baja, por lo que explica en cierta parte que la densidad poblacional de la plaga empiece aumentar una vez realizado el trasplante, y aún más cuando la plantación ha llegado a una edad en que las plantas presenten cierto desarrollo y ofrecer vasto alimento para su crecimiento. (Martínez *et al.*, 2016). Además, en etapas tempranas de cultivo la ovoposición es baja pero conforme el cultivo se desarrolla más y se produce mayor cantidad de follaje la tasa de ovoposición es mayor e incrementa notoriamente la población en el cultivo (Muñoz, 2009).

Sin embargo, también es posible que la densidad poblacional en periodos pre-siembra o bien en etapas tempranas del cultivo, malezas de la misma familia botánica como *Brassica rapa* L., puedan surgir con agresividad, siendo este una fuente de alimentación y representar un hospedero alternativo, con ello promover la reproducción de la especie y aumentar significativamente la densidad poblacional. En este caso no ocurrió ya que se realizó un manejo adecuado de malezas en todas las parcelas de estudio, por lo que no representó ser un factor influyente en los resultados.

Dichas afirmaciones argumentan la causa de que las capturas fuesen en aumento conforme el cultivo se desarrollaba, sin importar el tratamiento con el que contara. Sin embargo, la baja incidencia poblacional no solo se debe a dichos comportamientos, sino también al clima presente en la localidad ya que la proliferación de *P. xylostella* es menor en épocas lluviosas y con climas fríos, algo característico de la zona de estudio en la época de pruebas. De hecho, se ha determinado que las lluvias son uno de los factores más influyentes en la mortalidad de las larvas, por lo que cultivos de crucíferas con riego por aspersión tienden a tener menores poblaciones de la plaga (Gautam *et al.*, 2018). Además, Rojas (2019), menciona que la polilla cuenta con alta movilidad y altas tasas migratorias, por lo que en épocas de alta incidencia si podría afectar de cierta manera el cultivo en edades tempranas, más si este no es manejado adecuadamente, y tomando en cuenta que su población aumentaría en cuanto el follaje se desarrolle, la cual representa un ambiente óptimo para el incremento de la tasa de ovoposición.

6.2.3. Dinámica poblacional

La dinámica poblacional de *P. xylostella* en el período de estudio en las localidades de Cartago fueron moderadas sin peligro de pérdidas importantes, con promedios de capturas de 2.20 polillas/trampa/noche para el tratamiento control y 1.67 polillas/trampa/noche para el tratamiento de trampeo masivo, por lo que ambos tratamientos presentaron resultados positivos debido a que la incidencia de la plaga fue baja, ya que según Reddy & Guerrero (2001), el umbral de acción para el repollo es de 8 polillas/trampa/noche, siendo este el límite para evitar pérdidas económicas y su consiguiente aplicación de insecticidas.

Los bajos promedios de captura obtenidos son esperados dado a las condiciones y época de las evaluaciones, ya que estas fueron entre los meses de junio a setiembre, temporada en que las precipitaciones son más intensas rondando los 235 mm por mes y las temperaturas disminuyen hasta los 16.2 °C en estos meses, condiciones que reducen significativamente las poblaciones de *P. xylostella*, debido a que la ovoposición se ve afectada negativamente por las lluvias principalmente en las noches,

además que el ciclo biológico se alarga al presentar temperaturas más bajas, por lo que ambos factores afectan significativamente la dinámica poblacional de la plaga (Muñoz, 2009).

Situación que se confirma por lo realizado en México por Martínez, Salas y Díaz (2016), que calcularon los coeficientes de las poblaciones de machos y hembras de acuerdo con la temperatura y precipitación y se encontró que cuando la temperatura aumenta la abundancia de la palomilla se eleva, y cuando las precipitaciones incrementan las poblaciones de palomilla disminuyen. Incluso, en otro estudio realizado por ChemTica S.A. en la época seca, resultaron capturas de hasta 5.2 polillas/trampa/noche con trampeo masivo, tratamiento que obtuvo el menor promedio de capturas en el presente ensayo, por lo que si se hubiese realizado el tratamiento control posiblemente hubiera presentado un promedio mayor, tendencia similar al obtenido en este ensayo.

Sin embargo, el hecho de que el ensayo se realizara en época lluviosa y los niveles de infestación no superaran el umbral de acción, no quiere decir que la plaga sea menos agresiva, ya que en algunas semanas las capturas promedio, independientemente del tratamiento, se elevaron drásticamente entre una y otra indicando la importancia del monitoreo constante durante todo el ciclo y la correspondiente toma de decisiones según lo observado en campo. Dicha agresividad de la plaga se ejemplifica con comportamientos notables en transcurros específicos del periodo de estudio, como lo ocurrido con algunas parcelas, independientemente del tratamiento. En el caso de algunas parcelas como la 4 y 5, se observaron aumentos significativos en el promedio de capturas en algunos momentos del período de evaluación, lo que ratifica la importancia del constante monitoreo de la plaga debido a su agresividad y rápida reproducción, sin importar la época del año en que se establezca el cultivo.

Además, Bragga & Rezende (2015), mencionan que existen otros factores como el entorno, el tipo de suelo, la diversidad de las plantas, la amplitud de la dieta de los insectos plaga, la composición química y física de las plantas huésped, la abundancia de enemigos naturales, y los micro y macro climas presentes en cada área que influyen en la abundancia de la polilla en cada ciclo de cultivo y que se deben tomar en cuenta para el correcto manejo de la plaga.

6.2.4. Manejo del cultivo

Si bien es cierto, se contaba con dos tratamientos definidos, anteriormente explicados; el manejo del cultivo en cada parcela dependía de cada productor, e influía de cierta manera en el comportamiento de la plaga. En el caso de parcelas con el tratamiento convencional el uso de plaguicidas químicos fue

más frecuente y abundante; para el caso del trampeo masivo su uso fue más limitado y dependiente de cantidades de la plaga capturadas. Incluso, prácticas culturales tanto en el desarrollo del cultivo como el manejo postcosecha repercutía en la incidencia y desarrollo de la plaga, tanto en el ciclo actual como para futuros, resultando importante evitar repuntes significativos de la densidad de la plaga.

Se presentó una tendencia de mayor promedio de captura en los tratamientos con control químico, en donde el productor se basaba en el programa de aplicación o criterio propio, y menor en los tratamientos de trampeo masivo. En el caso específico de la parcela 1 con trampeo masivo en comparación con la parcela 2 con tratamiento control, esta última obtuvo un promedio menor de capturas, y una de las razones es el manejo realizado por el productor ya que este contaba con más aplicaciones químicas provocando una menor población de la plaga, a pesar de que esta contaba con parcelas cercanas con cultivos de crucíferas.

Para el caso de la parcela 3 en comparación con la parcela 4, ocurrió lo contrario al caso anterior ya que el trampeo masivo (parcela 3), obtuvo menor promedio de captura siendo posibles causas una potencial aplicación de insecticida en dicha parcela, ya que para esta parcela en específico el tratamiento comenzó pasadas aproximadamente tres semanas desde el trasplante, por lo que basados en un umbral de 0,5 larvas por planta antes de formación de la cabeza (Rosa, Araya, Guerrero y Lomborot, 1997), se recomendaría aplicar preventivamente algún insecticida, resultando probable que el productor encargado de esta parcela aplicara y bajara poblaciones antes de ser instaladas las trampas. En el caso de la parcela 4 en donde contaba con una densidad de trampas menor, las capturas de las polillas se concentraban en menor cantidad de trampas, incluso al depender únicamente de las aplicaciones químicas, es probable que aumentarían las tasas de aplicación, disminuyendo la eficiencia de las aplicaciones e incluso generar resistencia por parte de la plaga (Gautam *et al.*, 2018)

En cuanto a las parcelas 5 y 6, resultaron ser las más afectadas, y en el caso específico de la parcela 6 fue la de mayor captura de polillas de *P. xylostella* debido a causa de un inadecuado manejo postcosecha que provocó el aumento significativo de las poblaciones plaga en las últimas semanas del ciclo del cultivo, tal y como se muestra en la figura 18. Al ubicarse ambas parcelas en la misma finca, y con otras parcelas de repollo en diferentes etapas productivas, dichas parcelas fueron expuestas a las malas prácticas postcosecha anteriormente mencionadas, lo que provocó el aumento significativo de poblaciones y por ende de daño en plantas de estas parcelas

Este tipo de malas prácticas deben solucionarse siempre que sea posible, con el objetivo de evitar que la plaga permanezca en el terreno hasta la próxima siembra. Para esto, es fundamental eliminar los

restos de cosecha, enterrándolos en el suelo y aplicando posteriormente un riego, este es un tratamiento de desinfección natural, cabe rescatar que dicho riego se debería hacer en horas del atardecer, esto con el fin de coincidir con la mayor movilidad de los adultos de la plaga (Perera y Trujillo, 2013). Incluso Li *et al.*, (2018) recomiendan remover los restos de cosecha lo antes posible ya que si no se realiza a largo plazo se podrían presentar cantidades incontrolables de insectos, repercutiendo en cultivos menos productivos. Este tipo de acciones correctivas influye positivamente en el manejo de la plaga para futuras siembras, además de evitar daños a otros lotes aledaños con crucíferas en desarrollo, tal y como ocurrió en esta ocasión, así se evitará mayores daños en el cultivo, y propagaciones masivas de la polilla.

Una vez se contabilizó el punto más alto de insectos capturados en la semana 9, se logra apreciar una disminución en la cantidad capturada de organismos una semana después de dicho tope, y esto debido a la aplicación de insecticida realizada por el productor. Sin embargo, una semana después de la aplicación con plaguicidas químicos, estas parcelas presentaron respuestas distintas entre sí.

En el caso de la parcela con trapeo masivo la incidencia poblacional disminuyó, debido a una mayor distribución de las trampas y a la funcionalidad de las mismas, al ser una alternativa constante durante un período de tiempo, la cual maneja de manera oportuna la plaga evitando mayor propagación de la misma; otra posible razón se relaciona que dicha parcela se encontraba a una distancia más alejada del área de propagación, por lo que resultó de mayor conveniencia la parcela bajo tratamiento control. Para el caso de la parcela de tratamiento convencional, presentó otro aumento significativo una vez se aplicó el producto químico, demostrando la poca sostenibilidad de esta alternativa para el manejo de la plaga a través del tiempo, ya que su efecto prevalece durante un periodo corto de tiempo, además de características de la plaga como la resistencia a ciertos insecticidas y su capacidad migratoria, aspectos que disminuyen su efectividad. Cabe rescatar que ambas parcelas presentaron los promedios de capturas más altos, incluso al límite del umbral de acción de 8 polillas/trampa/noche mencionado anteriormente.

Sin embargo, el manejo realizado por cada productor en cuanto a las aplicaciones químicas de insecticidas, también influyeron de manera importante en la obtención de los resultados de la dinámica poblacional. Los productores al realizar aplicaciones, sean programadas o bien por criterio propio a causa del daño observado, mantuvieron una población en un nivel donde esta no llegara a provocar un daño que pusiera en riesgo la comercialización del producto. Lo anterior era a causa de que los promedios de captura observados se reducían significativamente de una semana a otra evidenciado dichas aplicaciones, especialmente en el tratamiento control donde se dependía mayoritariamente del uso de plaguicidas químicos.

Cabe resaltar que las aplicaciones químicas no son sostenibles en el tiempo para el manejo de poblaciones de la plaga, ni siquiera intensificando el uso de estos productos dará una solución a largo plazo, caso contrario lo que ocurre con alternativas a base de feromonas la cual disminuye poblaciones específicas a largo plazo, además de no afectar fauna benéfica y mejorar la seguridad alimentaria (Witzgal *et al.*, 2010). Por lo que las acciones tomadas por algunos productores de aplicar reiteradamente productos convencionales, provoca ineficiencia en el manejo de la plaga, riesgo en la seguridad alimentaria y altos costos económicos en la compra de insumos agrícolas.

En ambos tratamientos se aplicaron insecticidas, solo que para el caso del tratamiento control se realizaron aplicaciones programadas según el manejo de cada productor llegando a aplicar hasta 7 veces por ciclo productivo. Para el caso del tratamiento con trampeo masivo también se realizaron aplicaciones de productos químicos, pero en menor medida, debido a la utilización de las trampas con feromona, y de las decisiones de aplicar producto basado en el daño observado en las plantas.

6.3. Evaluación de daño

La evaluación semanal del daño en las plantas fue clave para determinar la incidencia poblacional de la plaga, además de servir como parámetro para la toma de decisiones durante el ciclo productivo. En las plantas se observó daño constantemente, en unas más severas que otras, pero cabe rescatar que las plantas también presentaron afectaciones a causa de patologías como hongos o virus, incluso daños físicos causados por otro tipo de insecto diferente al estudiado, estas sin ser tomadas en cuenta.

El daño causado por la plaga fue identificado por sus características según estado larval y observado durante todo el ciclo de cultivo. Las lesiones causadas por la plaga por lo general fueron en hojas viejas externas, la cual estas no representaron riesgos comerciales importantes, pero cabe rescatar que en algunos casos donde la población de la plaga fue más agresiva se presentaron cantidades de repollo afectadas por daños profundos en la cabeza la cual representó una pérdida comercial a los productores. De manera general el daño fue bajo, la cual se presentaron variaciones entre parcelas, tratamientos y manejo que influyeron en las diferencias encontradas, y que serán desarrolladas detalladamente a continuación.

6.3.1. Daño en las plantas por tratamiento y según escala

A pesar de que cada tratamiento presentó diferentes resultados en cuanto a daño, es sabido que el ataque de *P. xylostella* es constante desde el vivero hasta la cosecha, la cual pone en riesgo la comercialización del producto final, resultando en el principal factor limitante de las producciones del cultivo de las brásicas, ya que en ellas se presentan orificios, excrementos y otros aspectos que disminuyen el valor comercial (Huaripata, 2018). Por lo que esto representa la importancia de contar con plántulas en buen estado y sin afectaciones físicas significativas, esto para que no influya en el desarrollo de las plantas y en la calidad del producto.

En la figura 23 se mostró el promedio de daño entre tratamientos es un poco ambiguo, ya que dicho porcentaje es menor en el tratamiento de trampeo masivo al inicio de las mediciones y mayor a final de estas. Por lo que se decidió realizar un análisis donde contemplara el promedio de plantas dañadas del total de la muestra, es decir el porcentaje de plantas que resultara con 1% o más de daño encontrado en la planta, de esta manera se obtuvo una diferencia significativa entre tratamientos, resultando un daño mayor en el tratamiento control que el trampeo masivo.

Los resultados muestran que efectivamente existió una mayor afectación en la cantidad de plantas en el tratamiento control, relacionado directamente con el método de trabajo en el cual se realiza un mayor número de aplicaciones químicas. En este tratamiento, al depender de las aplicaciones químicas, los productores tienden a incrementar el número de aplicaciones, lo que conlleva a una disminución de la efectividad para el manejo de la plaga, sumado a la gran cantidad de moléculas químicas a las que *P. xylostella* ha generado resistencia a lo largo de los años (Gautam *et al.*, 2018).

Al ser analizado de la manera anteriormente mencionada, se logra obtener parámetros más claros, ya que, si estos se analizaran desde una perspectiva individual en cuanto a cada parcela, se obtienen porcentajes de daño ambiguos debido a su irregularidad a causa del manejo diferenciado entre productores y que ejemplifican situaciones reales de labores agronómicas tales como las aplicaciones de plaguicidas y manejos postcosecha. En el caso de la parcela 2 (tratamiento control), se obtuvieron los mayores daños al inicio de las mediciones, esto debido a aspectos como las condiciones deficientes de las plántulas presentando mayor susceptibilidad de afectación por plagas o enfermedades, además que la parcela se encontraba alrededor de otras parcelas cultivadas con crucíferas ocasionando mayores poblaciones y aumentando la posibilidad de ataques importantes a las plántulas. Sin embargo, dicha parcela resultó con uno de los menores promedios de daño al final de las evaluaciones, posiblemente debido a un mayor y constante uso de insecticidas, debido a los aspectos anteriormente mencionados.

Para las otras dos parcelas con el tratamiento control, se reportaron porcentajes de daño entre 30-40% al inicio de las evaluaciones; en general, en ambas se presentó un crecimiento gradual de la población de *P. xylostella*, pero con notables fluctuaciones explicadas por el uso de plaguicidas, para el manejo de poblaciones de insectos y que se refleja en una reducción del nivel de daño observado. Sin embargo, al ser una plaga con estilos de vida protectores y que tiende a esconderse en las plantas, debido a los hábitos larvales y a la ovoposición de los huevecillos, suele dificultarse el manejo con las aplicaciones químicas, cuya aspersion cae sobre cierta parte de la plantación, dejando sin cubrir muchas partes de las plantas donde se encuentran diferentes estadios de la plaga (Witzgall *et al.*, 2010). Además, al ser una plaga de ciclo corto, estas se logran reproducir rápidamente ocasionando nuevamente niveles de daño considerables si estas no son manejadas adecuadamente, resultando de suma importancia el monitoreo constante de la plaga.

En el caso de las parcelas 1 y 5 con tratamiento de trampeo masivo su porcentaje de daño inicial fue notablemente bajo, entre 0-10%, presentando también, una tendencia de crecimiento gradual, pero estas reducciones menos significativas en cuanto al daño observado. Lo anterior se debe a una menor dependencia de plaguicidas, y a un manejo constante mediante las trampas con feromonas sexuales sintéticas, que ayuda a monitorear la población para evitar mayores daños a las plantas. Para la parcela 3, esta si presentó niveles altos al principio de las evaluaciones, posiblemente debido a que el cultivo de dicha parcela se encontraba en una edad más avanzada al resto, provocando una mayor población de larvas, y más cantidad de sitios para la ovoposición de las hembras, además de presentar mayor área foliar lo cual, en estas etapas, permite observar con mayor claridad las lesiones causadas por las larvas

6.3.2. Daño a través del tiempo

El daño ocasionado por la plaga ocurre durante las diferentes etapas larvales, y afecta todas las etapas del cultivo y la mayoría de las partes de la planta. También, la influencia de adultos en etapas tempranas del cultivo puede deberse a daños en las plántulas, que pueden venir infectadas con larvas que los adultos producen, incluso al tiempo de arribo de los adultos (Dosdall, Soroka & Olfert, 2011). Sin embargo, los datos muestran que las plántulas no llegaron tan afectadas al trasplante ya que no existió un daño tan severo en etapas tempranas del cultivo, a excepción de la parcela 2 que presentó un daño desde plántula mayor al resto de parcelas.

Otro aspecto que influyó en que el mayor daño se presentó en etapas avanzadas de cultivo fue debido a que, según Dosdall *et al.*, (2011), la polilla selecciona las plantas huésped según el contenido

nutricional, especialmente de las hojas, ya que es común que las hembras de *P. xylostella* opositen en plantas con basta cantidad de hojas y con buenos niveles nutricionales, porque estas proporcionan mejores condiciones para el desarrollo de las larvas, incluso encontrando una mayor ovoposición en plantas con suelos sulfurados en comparación con suelos deficientes de sulfuro.

Lo anterior contribuye a explicar por qué el daño fue gradual conforme avanzaba la edad del cultivo, ya que las fertilizaciones correspondientes fueron suministradas a las plantas y los nutrientes incorporados poco a poco; además un mayor desarrollo de las hojas influye en una mayor propagación de la plaga y por ende un creciente daño a través del tiempo.

Cabe destacar que, a pesar de presentar una tendencia de crecimiento gradual del daño, algunas parcelas como la parcela 2 contaba con altos porcentajes de daño al inicio de las evaluaciones y con una caída de este porcentaje semanas posteriores, debido a la aplicación temprana de insecticidas químicos. Junto a esta parcela se encontraban otras parcelas con repollo en diferentes etapas del cultivo, por lo que esta situación pudo ser causante de un mayor daño por parte de la plaga, especialmente al inicio del cultivo.

En el caso de la parcela 6 ocurrió una situación particular, la cual presentaba una tendencia de un crecimiento de daño gradual a excepción de la semana 7 donde presentó un aumento notable, cercano al 16% de daño promedio por planta. Este comportamiento puede explicarse por el inadecuado manejo postcosecha del lote contiguo a dicha parcela, lo cual ocasionó un aumento significativo de la cantidad de palomillas, reflejándose en un mayor porcentaje de daño en dicho periodo, hasta ser manejado momentáneamente con aplicaciones químicas por parte del productor. Aquí radica la importancia de disponer adecuadamente los restos de cosecha, idealmente enterrarlos. Una vez enterrados la presencia de la lluvia afecta la supervivencia de los huevos, por lo que realizar riegos por aspersión constantemente, preferiblemente en horas frescas, afectaría directamente los huevecillos de la plaga y así evitar una mayor propagación (Perera y Trujillo, 2013).

En la parcela 5, que se encontraba en la misma finca de la parcela 6, su afectación fue menor debido a que el lugar donde se encontraban los restos de cosecha estaba más alejado de esta en comparación de la parcela 6, siendo más fácil para la plaga abastecerse de las plantas más cercanas. También es de importancia mencionar que la plaga es altamente migratoria, y la distancia con las fuentes de alimento no debería ser problema; sin embargo, en el caso de la parcela 5, las trampas con feromonas se encontraban distribuidas en mayor cantidad y en toda la superficie de la parcela, aspecto que previno más eficientemente el daño a pesar de la presencia de los residuos de cosecha en la parcela aledaña.

Es importante considerar los manejos postcosecha del cultivo, ya que en muchas fincas productoras suelen sembrar y cosechar parcelas constantemente, de manera que se cicle el cultivo y siempre se pueda cosechar, con el objetivo que se dé flujo de efectivo. De esta manera, los restos de cosecha estarán presentes constantemente en las fincas productoras, por lo que debe ser de gran relevancia velar porque los restos de cosecha se manejen correctamente, y con ello evitar proliferaciones significativas de la plaga que puedan afectar parcelas cercanas, que se encuentren aún en etapas de desarrollo.

En un estudio realizado por Dosedall *et al.* (2011), el daño provocado por las larvas a las plantas de la canola en las hojas es un daño de menor importancia, contrario cuando éste es en los brotes y flores, lo cual es más dañino especialmente si las plantas se encuentran en ambientes bajo estrés abiótico y se dificulta la producción de nuevos brotes y flores. Caso similar ocurre en repollo, donde en el presente estudio el daño reportado fue en el total de la planta, contabilizando las hojas externas que, por lo general, una vez realizada la cosecha estas hojas son eliminadas sin afectar la comercialización del repollo.

Sin embargo, cuando dicho daño es más severo y afecta la cabeza del repollo con perforaciones importantes, estos se califican como no comercializables. En las parcelas control, en estudio se contabilizaron un total de 36 repollo dañados contra 28 repollos dañados en las parcelas con trampeo masivo, siendo una diferencia mínima, y si esta se traduce en cosecha representaría 29 repollos perdidos por hectárea versus 20 repollos perdidos por hectárea respectivamente.

Si dichas pérdidas son traducidas a peso, y basados en un promedio de 1,5 kilogramo por repollo (MAG, s.f.), sería un peso total de pérdida de 43,5 kilogramos por hectárea para el tratamiento control, contra 30 kilogramos perdidos para el tratamiento con trampeo masivo, representando una mayor pérdida para el tratamiento control, además es de considerar que las pérdidas sería aún mayores si fuese en época seca a causa de una mayor proliferación de la plaga, durante la cual se deben multiplicar los esfuerzos para manejar la plaga.

6.3.3. Lesiones características de la plaga

Comúnmente el primer estadio larval suele alimentarse del interior del tejido foliar, realizando minas; el resto de los estadios larvales se alimentan de las hojas tanto interior como exteriormente, realizando parches irregulares, en los cuales en ocasiones dejan la capa epidérmica superior con

aparición de ventanas, además de orificios completos evidenciando aún más el daño (Philips, C., Fu, Z., Kuhar, T., Shelton, A., & Cordero, R., 2014).

Lo anterior se logró identificar en las plantas, las cuales presentaban diferentes tipos de daño durante todo el ciclo productivo. Incluso, los daños característicos de los diferentes estadios larvales se encontraban en la misma planta, debido a la constante y rápida reproducción de la plaga que ocasiona que dicho ataque sea persistente, a pesar de esto las lesiones observadas no pasaron de orificios cercanos a los 3 centímetros de diámetro. Los daños fueron más severos en etapas más desarrolladas de las plantas, donde anteriormente se ha mencionado, que suele darse una mayor proliferación de la plaga a causa de mejores condiciones para su reproducción, tanto nutricionales como de protección.

Como se menciona anteriormente el daño es ocasionado por las larvas, las cuales son muy pequeñas, pero en grandes cantidades de infestación pueden provocar serios daños en los cultivos, ya que podrían afectar otras partes de las plantas como brotes o tallos, incluso contaminar el producto con excrementos y “telarañas”, que, sumado a los diferentes orificios, disminuye aún más el valor comercial del producto (Huaripata, 2018).

A pesar de esto, el daño general en el cultivo independientemente de cada tratamiento fue bajo, esto debido al manejo de la plaga, y una baja tasa reproductiva a causa de las condiciones climáticas durante el periodo de estudio. Incluso gran parte del daño reportado resultó ser mayoritariamente de hojas externas, que al final de la cosecha fueron removidas para su posterior comercialización, sin ignorar que se presentaron repollos con daños severos ocasionando pequeñas pérdidas a los productores. En estos casos los repollos presentaban orificios significativos en varias capas de la cabeza, evitando que estos fueran comercializados, lo que representó pérdidas económicas para los productores.

6.4 Análisis económico

El análisis económico al realizarse en base a los costos estimados de cada tratamiento, lo cual se incluyó tanto como productos químicos como feromonas sintéticas, y demás utensilios y accesorios utilizados, se logró obtener un resultado que dicta que el tratamiento con trampeo masivo con feromonas sintéticas fue más económico debido a una menor inversión por plaguicidas, a causa de un menor uso de aplicaciones de este producto, que a pesar de que si se usó mayor cantidad de feromonas, estas no representaron un costo considerablemente mayor. Dicho costo en el trampeo masivo, a pesar de contar con una inversión considerable de insecticidas químicos, no supero a la inversión del tratamiento control

de dichos productos. A pesar de contar con ciertos costos estimados, esto ayudó a demostrar claramente que la inversión entre tratamientos, fue más beneficioso para las parcelas bajo trampeo masivo.

6.4.1 Productos de manejo

En ambos tratamientos se realizaron gastos importantes para el manejo de la plaga, estos dependieron de los diferentes productos utilizados dependiendo de cada tratamiento. Los plaguicidas utilizados, la manera en que los productores los aplicaron, el área de cada parcela, y por supuesto el tratamiento utilizado fueron aspectos que influyeron en los costos totales por parcela. Si bien se sabe que para ambos tratamientos se utilizaron productos químicos formulados como lo son los insecticidas, se presentó un mayor uso de plaguicidas para las parcelas bajo el tratamiento control, ya que estas dependían solamente de estos productos y en las parcelas tratadas con trampeo masivo, fueron las trampas con feromonas en complemento con los plaguicidas.

En el cuadro 3 se aprecia detalladamente el costo aproximado de las aplicaciones químicas en cada parcela, además del costo colones/ m^2 según el área de la parcela, la cual resultó ser mayor para las parcelas bajo tratamiento control, tal y como lo muestra la figura 29 con una clara diferencia significativa entre tratamientos. Cabe rescatar que el costo de inversión de las aplicaciones de plaguicidas influye la manera en que el productor aplica los productos, ya que en ocasiones puede ocurrir que el productor gaste más producto de lo requerido, debido a una mala capacitación del aplicador o factores abióticos que reducen la eficiencia de la aplicación, lo que provoca que los costos aumenten debido a un mayor requerimiento de insumos y mano de obra. Además, el área de la parcela influye, ya que entre mayor sea mayor será la cantidad de producto y tiempo a necesitar, más si se utilizan productos poco eficaces, con mayor frecuencia de aplicación o con resistencia generada por la plaga.

Si bien en el cuadro 3 se muestra solamente el costo de las aplicaciones de plaguicidas, para las parcelas con trampeo masivo debe ser sumado con el costo de las trampas con feromonas utilizadas para cada una especificadas en el cuadro 4. En ese caso las parcelas con trampeo masivo 1, 2 y 3 su costo por colones/ m^2 fue de 195, 222 y 181 respectivamente, a un precio de dólar americano de 618 colones, tal y como muestra el cuadro 5. Este se comparó con los 273, 244 y 302 colones/ m^2 de las parcelas con tratamiento control, dicha comparación fue representada en la figura 30 y en este se logra apreciar una diferencia significativa entre tratamientos, prevaleciendo un mayor costo en las parcelas tratadas solamente con plaguicidas convencionales. Esto se relaciona a lo mencionado por El-Sayed *et al.* (2006),

quien indica que los materiales y labores del trampeo masivo tienen un mejor beneficio económico a otras alternativas de manejo de plagas.

Cabe destacar que en las parcelas con tratamiento control se tomaron en cuenta los costos de las feromonas de monitoreo para contemplar a mayor detalle los costos totales. La utilización entre 3 y 4 trampas por semana, correspondientes a las parcelas del tratamiento control. Esto permitió realizar un monitoreo semanal, sin embargo, en situaciones normales estos no se incluirían por razón de que no se utilizarían.

Además, si con dichos datos se promediara por tratamiento sería de 199,3 y 273 colones/ m^2 para el trampeo masivo y control, respectivamente, resultando una diferencia de 667.000 colones por hectárea. Analizándolo desde diferentes perspectivas, el trampeo masivo siempre será más económico y eficiente en el manejo de la plaga, inclusive según el reporte de un productor puede llegar a ahorrarse entre 2 a 3 aplicaciones por ciclo de cultivo, lo cual además de ahorrarse dinero también reduce la residualidad química de los productos en el cultivo, lo anterior se relaciona con lo encontrado por Wang *et al.* (2004), quienes evidenciaron que en el tratamiento con trampeo masivo se realizaron menos aplicaciones de insecticidas, y aun así los resultados en dicho tratamiento fueron mejores.

Claramente los datos anteriores se ajustan a los utilizados en el presente estudio en cuanto área, productos para el manejo, y la manera de aplicación; sin embargo, muestra un estimado de los beneficios productivos y económicos cuando la plaga es manejada mediante el trampeo masivo como alternativa complementada con productos químicos convencionales, y a su vez permite establecer un panorama claro en cuanto a la estrategia a utilizar, según sea la conveniencia del productor.

6.4.2 Beneficio económico

El beneficio económico encontrado fue obtenido por la información de solo cuatro parcelas, sin embargo, esta significó una diferencia notable, y una tendencia de mayor rendimiento productivo para las parcelas tratadas bajo el trampeo masivo complementadas con aplicación químicas. Entre tratamientos se obtuvo un promedio de 0.05 kg/m^2 mayor para el trampeo masivo, significando 500 kg/ha , por lo que económicamente se traduce en una ganancia cercana a los 92.500 colones/ha para parcelas bajo tratamientos de trampeo masivo como alternativa de manejo de *P. xylostella*, similar a lo ocurrido en un estudio realizado por Topagi *et al.* (2018), en donde el rendimiento productivo del repollo

bajo el tratamiento con trampeo masivo resultó ser mayor al tratamiento convencional, y también se reflejó con una mayor ganancia económica por hectárea.

Lo anterior deja en evidencia que el tratamiento control bajo aplicaciones químicas programadas según el productor y sin utilizar el trampeo masivo como alternativa, resulta ser menos productivo en cuanto a su rentabilidad y este se refleja en menores ingresos económicos por venta del producto, así como mayores costos en cuanto al método de manejo de la plaga. Por lo que resulta el tratamiento de trampeo masivo como una alternativa considerable para el manejo de esta importante plaga, debido a los resultados obtenidos, así como un menor costo económico y menor impacto ambiental.

Según Shakir *et al.*, (2018), el uso de plaguicidas ocasiona efectos adversos en plantas no objetivo, como en este caso lo fue el repollo. Ya que a nivel celular el estrés ocasionado por dichos productos químicos, provoca estrés oxidativo la cual se forman moléculas altamente tóxicas para las plantas, oxidando sustancias esenciales como los lípidos, proteínas y ácidos grasos. Por consecuente se produce muerte celular, daño en la membrana e inactivación enzimática, resultando en plantas susceptibles y por ende menores rendimientos a nivel productivo. Sin embargo, lo anterior no fue evaluado ni comprobado, más sí resulta ser otra posible razón del porqué el tratamiento control obtuvo menor beneficio económico en comparación con el tratamiento con un menor uso de pesticidas químicos al cultivo.

7. Conclusiones

- Se encontró menor densidad poblacional de la plaga para el tratamiento con trampeo masivo en comparación con el tratamiento con uso de aplicaciones químicas convencionales; sin embargo, esta no fue estadísticamente significativa. También se determinó un aumento gradual de la población conforme avanzaron las fechas de evaluación significando una mayor cantidad de palomillas en cuanto avanzó el desarrollo de las plantas. A pesar de esto se comprobó que en la época en que se realizó el estudio, suele existir una presencia mucho menor que las encontradas en época seca, según reportes de estudios anteriormente realizados por la empresa Chem Tica.
- Se determinó un porcentaje de daño en las plantas significativamente mayor en las parcelas bajo el tratamiento con aplicaciones químicas convencionales en comparación con el trampeo masivo, relacionado directamente con una mayor población de la plaga en el tratamiento control, además el daño se intensificó conforme el desarrollo de las plantas avanzaba. Sin embargo, dicho daño por lo general fue en las hojas externas del repollo, afectando en menor medida la cabeza del repollo y por ende la parte comercial del mismo.
- En cuanto a los costos de inversión de plaguicidas, fueron menores en el trampeo masivo debido a una menor aplicación de estos a causa de menor necesidad de uso y por ende una inversión menor, contrario al tratamiento control en donde su uso fue a criterio de los productores y sin depender de ningún otro método de manejo. En cuanto a criterios de productividad también resultó superior el trampeo masivo, obteniendo las parcelas bajo este tratamiento $0,05 \text{ kg/m}^2$ más que las parcelas tratadas convencionalmente, y esto representando una diferencia económica significativa mayor por hectárea. Por lo que el tratamiento de trampeo masivo resultó en ambos aspectos más beneficioso debido al menor costo de inversión y mejor productividad, obteniendo mayor beneficio económico.
- Las labores de instalación y mantenimiento resultaron ser muy importantes durante el proceso de evaluación, ya que una buena ejecución de estas optimiza de mejor manera la captura de las polillas en el cultivo. La correcta instalación de las trampas en el suelo, una altura adecuada de estas sobre el cultivo, el tamaño óptimo de los agujeros, la densidad de trampas correspondientes, además del cambio de agua constantemente fueron algunas de las acciones necesarias para una mejor obtención de resultados en ambos tratamientos.

- Por último, es esencial las buenas prácticas agronómicas y culturales durante los diferentes procesos del ciclo productivo, tanto antes de la siembra, durante el desarrollo de las plantas, y en la cosecha y la postcosecha. La obtención de buenas plántulas, la correcta fertilización, la preparación del suelo, incluso buenas prácticas postcosecha, pueden influir tanto positiva como negativamente en el nivel de población de la plaga durante el cultivo, resaltando la importancia de los conocimientos prácticos básicos para un mejor manejo integrado del cultivo.

8. Recomendaciones

- Efectuar investigaciones similares sobre *Plutella xylostella* en parcelas de mayor tamaño, y en diferentes localidades del país con el fin de obtener mayor precisión en cuanto al uso de feromonas sexuales sintéticas en diferentes condiciones para el manejo de esta plaga.
- Realizar más investigaciones en *Plutella xylostella* y en otras plagas de importancia agrícola a nivel nacional conforme a la respuesta de estas hacia las feromonas sexuales sintéticas, y con ello ampliar las alternativas de manejo de plagas.
- Involucrar a las instituciones e industria a promover el uso de esta alternativa como método confiable para el manejo de plagas de una manera más compatible con el medio ambiente, la salud del consumidor y económicamente más rentable que las alternativas convencionales.
- Definir distintas escalas de daño ocasionados por la plaga, con el fin de detallar de mejor manera el nivel de afectación en las plantas, con esto obtener resultados más precisos para realizar un óptimo control tanto para la investigación como para el manejo en campo.
- En la época lluviosa el uso de feromonas es funcional de la misma manera que en época seca, la diferencia radica en la densidad poblacional que puede encontrarse entre una época y otra, sin embargo, los métodos de aplicación de esta alternativa para el manejo de la plaga no deberían cambiarse, realizar las labores y mantenimientos necesarios para una buena eficiencia de captura de adultos. Sin embargo, queda a criterio del productor utilizar diversos métodos en caso de presentar densidades altas de la plaga.
- Debe evitarse la dependencia de un solo sistema de manejo de plagas, y más si este está a base de agroquímicos generando una dependencia de los productos, además de una mayor carga química a los cultivos. Por lo que el uso de feromonas resulta una buena alternativa para complementar otros métodos de manejo, incluso como el método exclusivo de manejo siempre y cuando existan constantes monitoreos de la plaga y niveles moderados de infestación.
- El sistema de manejo bajo uso de feromonas será una buena alternativa siempre y cuando se brinde la asesoría y ejecución adecuada, además del compromiso del productor tanto para la parte ambiental como para la salud alimentaria, incluso obteniendo un beneficio económico si es aplicado adecuadamente.

9. Referencias bibliográficas

Altesor, P., Rossinni, C., y González, A (2009). Capítulo 1. Introducción: el uso de feromonas en el manejo de lepidópteros plaga. Altesor, P., & González, A (Eds), *Monitoreo y detección de Epinotia (Crociosema aporema, Lepidoptera: Tortricidae) con trampas de feromonas* (9-11). Recuperado de: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1368/1/18429061113105621.pdf>

Andersen, C. (s.f). Home gardening series. Cabbage. University of Arkansas. Recuperado de <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-6006.pdf>

Araya, L., Monge, L., Carazo, E., y Cartín, V. (1999). Diagnóstico del uso de insecticidas para el combate de *Plutella xylostella* en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*, 52, 49-61. Recuperado de http://www.aomidoribiocontrol.com/AoM32/index.php?option=com_content&view=article&id=251&catid=14&lang=es&Itemid=195

Balliu, A. (2014). Chapter 4: Cabbage. En K. V. Peter Editor & P. Hazra Editor, *Handbook of Vegetables*, 3, 79-120). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/280943039_Cabbage

Braga, L., & Rezende, I (2015). The abundance of specialist lepidopteran larvae on a single host plant species: Does spatial scale matter? *Florida Entomologist*, 98 (3), 954-961. doi: 10.1653/024.098.0323.

Blanco, H. (2004). Las feromonas y sus usos en el manejo integrado de plagas. *Manejo integrado de plagas y agroecología*, 71, 112-118. Recuperado de

<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6481/A1933e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bujanos, R., Marín, A., Díaz, L., Gámez, J., Ávila, M., Herrera, R., Dorantes, J., y Gámez, F (2013). *Manejo integrado de la palomilla dorso de diamante Plutella xylostella (L.) en la región del Bajío, México*. Folleto técnico Núm. 27. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/7147/943a8ae75a0cb611cefbe9501776754c3960.pdf>

Cal, V. (s.f). Feromonas de lepidópteros para un uso sostenible de insecticidas en la agricultura: avances en la identificación de la feromona sexual de *Pseudaletia adultera* (Lepidoptera: Noctuidae). (Tesis de maestría). Recuperada de la base de datos del Repositorio Institucional de la Facultad de Química RIQUIM (Núm. 504:54 CA).

Calyecac-Cortero, H., Cibrián-Tovar., y J., Barrios-Díaz, B. (2002) Captura de machos de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) en trampas cebadas con feromonas sexual sintética. *Agrociencia*, volumen (36), 83-91. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/302/30236108.pdf>

Capinera, J (2011). *Diamondback 64olu, Plutella xylostella (Linnaeus) (Insecta: Lepidoptera: Plutellidae)*. University of Florida, IFAS Extension. Recuperado de <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN27600.pdf>

Chávez, G., y Hurtado, R. (2010). *El manejo integrado de Plutella xylostella en brócoli, coliflor y repollo con combinaciones selectas de microtúneles, nematodo entomopatógeno, refugios, y el insecticida Rynaxypyr en Zamorano, Honduras* (Tesis de licenciatura). Universidad El Zamorano. Zamorano, Honduras.

Correa-Cuadros J.P, Rodríguez-Bocanegra M.X., & Sáenz-Aponte, A. (2014). Susceptibility of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae; Linnaeus 1758) to *Beauveria bassiana* Bb9205, *Metarhizium anisopliae* Ma9236 and *Heterorhabditis bacteriophora* HNI0100. *Universitas Scientiarum*, 19(2), 277-285. doi: 10.11144/Javeriana.SC19-2.spxl

Cotes, M (2018). Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros. Volumen 1. Agentes de control biológico. Corporación colombiana de Investigación agropecuaria. Recuperado de: <http://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/book/21>

Curis, M.C., Bertolaccini, I., Lutz, A., y Favaro, J.C. (2019). Estado del MIP de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) en Argentina. *Revista FAVE*, 18 (2). doi: 10.14409^a.v19i2.880

Dosdall, L., Soroka, J., & Olfert, O (2011). The Diamondback moth in canola and mustard: Current pest status and future prospects. *Prairie Soils & Crops Journal*, 4, 66-76. Recuperado de: <http://prairiesoilsandcrops.ca/articles/volume-4-8-screen.pdf>

El-Sayed, A., Suckling, D., Wearing, C., & Byers, J (2006). Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *Journal of Economy Entomology*, 99 (5), 1550-1564. Recuperado de: <https://www.chemical-ecology.net/pdf/El-Sayedetal2006.pdf>

Espinoza, A., Vaquerano, B., Torres, R., y Montiel, H. (2003). Efectos de los plaguicidas en la salud y el ambiente en Costa Rica. Organización Panamericana de la Salud. San José, Costa Rica. Recuperado de <https://www.bvs.sa.cr/php/situacion/plaguicidas.pdf>

FAOSTAT (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>

- Fornaris, G.J. (2014). Características de la planta. En Universidad de Puerto Rico. *Conjunto tecnológico para la producción de repollo*. Recuperado de <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/04/2.-REPOLLO-CARACTERISTICAS-DE-LA-PLANTA-v.-2014.pdf>
- Gautam, MP., Singh, H., Kumar, S., Kumar, V., Singh, G., Singh, SN (2018). Diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Insecta: Lepidoptera: Plutellidae) a major insect of cabbage in India: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6 (4), 1394-1399. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/336405184_Diamondback_moth_Plutella_xylostella_Linnaeus_Insecta_Lepidoptera_Plutellidae_a_major_insect_of_cabbage_in_India_A_review
- González, E. (2010). Evaluación de la productividad de tres cultivares de repollo (*Brassica oleracea* L. var. Capitata) al aire libre, en Valdivia. Recuperada de la base de datos de CyberTesis UACH. (Núm. Fag643e).
- González, A., Altesor, P., Sellanes, C., y Rossini, C. (2012). Aplicación de feromonas sexuales en el manejo de lepidópteros plaga de cultivos agrícolas. En: J. C. Rojas & E. A. Malo (eds.). *Temas Selectos en Ecología Química de Insectos*, 343-360. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/271528026_Aplicacion_de_Feromonas_Sexuales_en_el_Manejo_de_Lepidopteros_Plaga_de_Cultivos_Agricolas
- González, F., Kharrat, S., Rodríguez, C., Calvo, C., & Oehlschlager, A. C. (2019). Research Paper (Integrated Management: Insects) Red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus* Olivier): Recent advances. *Arab Journal of Plant Protection*, 37(2), 178. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/334253432_Red_palm_weevil_Rhynchophorus_ferrugineus_Olivier_Recent_advances
- Hasheela, E., Nderitu, J., & Olubayo, F. (2010). Evaluation of Border Crops against Infestation and Damage of Cabbage by Diamondback Moth (*Plutella xylostella*). *Tunisian Journal of Plant*

Protection, 67 (5), 99-105. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/9f9c/545ee9dfb1884af9f5701bc72bd11b00bc53.pdf>

Hermansson, L. (2016). *Biology of the diamondback moth (Plutella xylostella) and its future impact in Swedish oilseed rape production*. Swedish University of Agricultural Sciences. Recuperado de https://stud.epsilon.slu.se/9645/1/hermansson_j_161010.pdf

Huaripata, C (2018). Ciclo biológico de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), en brócoli y coliflor bajo condiciones de laboratorio, en La Molina, Perú. Repositorio La Molina. (Tesis de Magister Scientiae: 3156).

Imran, S., Mutturaju, G., Doddabasappa, B., Dudarshan, G., Sahida, A., & Chakravarthy A (2019). Standarization of height and density of pheromone traps for mass trapping diamond back moth, *Plutella xylostella* (L.) in cabbage. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7 (1), 1049-1052. Recuperado de: <https://www.entomoljournal.com/archives/2019/vol7issue1/PartQ/7-1-193-173.pdf>

Instituto Meteorológico Nacional (2020). Promedios mensuales de datos climáticos. Estación 73 115 Capellades, Birris.

Instituto Nacional de Desarrollo Rural (2014). *Caracterización territorio Paraíso-Alvarado*. Cartago, Costa Rica. Recuperado de <https://www.inder.go.cr/istaru/Caracterizacion-Territorio-Paraiso-Alvarado.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Censos (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario. Cultivos agrícolas, forestales y ornamentales*. San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10581.pdf>

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (2015). *Suelos de Costa Rica orden Andisol volume68. Boletín técnico*. San José, Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1828.PDF>

Jaramillo, J. y Díaz, C. (2006). El cultivo de las crucíferas: brócoli, coliflor, repollo, col china. Manual técnico 20. URL: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13457>

Kuniyoshi, C. (2002). Evaluación del uso de feromonas para el control y monitoreo de *Spodoptera frugiperda* y *Helicoverpa zea* en maíz dulce. Recuperado de la base de datos de Biblioteca Wilson Popenoe (PEG-CPA).

Li, Z., Furlong, M.J., Yonow, T., Kriticos, D.J., Bao, H., Yin, F., Lin, Q., Feng, X & Zalucki, M. (2018). Management and population dynamics of diamondback moth (*Plutella xylostella*): planting regimes, crop hygiene, biological control and timing of interventions. *Bulletin of Entomological Research*, 1, 1-9. doi: 10.1017/S0007485318000500

Lobos, E., Occhionero, M., Werenitzky, D., Fernandez, J., LM, Gonzalez., Rodriguez, C., Calvo, C., Lopez., & Oehlschlager, AC (2013). Optimization of a trap for *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) and trial to determinate the effectiveness of mass trapping. *Neotropical Entomology*, 42, 448-457. doi: 10.1007/s13744-013-0141-5

Machekano, H., Mvumi, B., & Nyamukondiwa, C. (2017). Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (L.) in Southern Africa: Research Trends, Challenges and Insights on Sustainable Management Options. *Sustainability*, 9 (91), 1-23. doi: 10.3390/su9020091

Mahob, R., Babin, R., ten Hoopen, G., Dibog, L., Yede., Hall, D., & Bilong, C. (2011). Field evaluation of synthetic sex pheromone traps for the cocoa mirid *Sahlbergella singularis* (Hemiptera: Miridae). *Pest Manag Sci*, 67, 672-676. doi: 10.1002/ps.2107

Mena, J., y Hernández, J (2017). Brasicáceas y perspectivas de control biológico del insecto plaga *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) utilizando *Bacillus thuringiensis*. *Mutis*, 7(2), 7-22. doi: 10.21789/22561498.1245

Ministerio de Agricultura y Ganadería (s.f). *Repollo*. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-0658repollo.pdf>

Ministerio de Agricultura y Ganadería (2018). *Boletín estadístico agropecuario: Serie cronológica 2014-2017* (Edición #28). Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BEA-0028.PDF>

Muñoz, I (2009). Evaluación de tres programas químicos para el control de *Plutella xylostella* L. en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. Italica) y servicios agrícolas realizados en Patzún, Chimaltenango. (Tesis de licenciatura). Recuperado de la base de datos de Repositorio del Sistema Bibliotecario de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Num. 9247).

Nurulhidayah, S., & Kamarudin, N. (2011). Pheromone trapping in controlling key insect. Pest: Progress and prospect. *Oil Palm Bulletin*, 13(2), 1-19. Recuperado de <http://palmoilis.mpob.gov.my/publications/OPB/opb62-Nurul.pdf>

Oliveira, J., Passos, E.M., Aragão, R.M., Santos, T.S., Cruz, E.M.O., Mendonça, M (2021). Control of diamondback moth with *Lippia gracilis* essential oil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 57, 1-9. doi: 10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02085

Perera, S., y Trujillo, L (2013). La polilla de la col. Cabildo de Tenerife. Tenerife, España. Recuperado de: http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otra_517_plutella%20xylostella.pdf

- Pérez, C & Shelton, A (1997). Resistance of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) to *Bacillus thuringiensis* Berliner in Central America. *Journal of Economic Entomology*, 90 (1), 87-93. Recuperado de: https://pdfs.semanticscholar.org/2044/c8645fec62c07aabec109c2a4f0cf3c70c4.pdf?_ga=2.152182842.262511580.1597097023-995089747.1589927689
- Petit, G. (2009). Comportamiento y desempeño de seis cultivares de repollo (*Brassica oleracea* L. var capitata) cultivados en el valle de Comayagua. FHIA. *Programa de hortalizas*, 96-106. Recuperado de <https://www.camjol.info/index.php/FHIAPH/article/view/231/0>
- Philips, C., Fu, Z., Kuhar, T., Shelton, A., & Cordero, R (2014). Natural history, ecology, and management of Diamondback Moth with emphasis on the United States. *Journal of integrated pest management*, 5(3), 1-11. doi: <http://dx.doi.org/10.1603/IPM14012>.
- Prasad, G., & Guerrero, A (2000). Pheromone-based integrated pest management to control the diamondback moth *Plutella xylostella* in cabbage fields. *Pest Management Science*, 105 (4), 882-888. doi: <http://dx.doi.org/10.1603/EC12107>
- Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (2021). Sistema de información de mercados mayoristas boletín de precios: Precios mayorista a minorista CENADA, Heredia, Costa Rica. Recuperado de: <http://www.pima.go.cr/boletin/>
- Ramírez, P (1996). Las feromonas de insectos y su aplicación en agricultura. *Palma*, 17, 27-32. Recuperado de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/553>
- Reddy, G., & Guerrero, A (2001). Optimum timing of insecticide applications against Diamondback Moth *Plutella xylostella* in cole crops using threshold catches in sex pheromone traps. *Pest Management Science*, 57, 90-94. Recuperado de

<https://www.researchgate.net/publication/269222896> Optimum timing of insecticide applications against diamondback moth *Plutella xylostella* in cole crops using threshold catches in sex pheromone traps

Reddy, G., Holopainen, J.K., & Guerrero, A (2002). Olfactory responses of *Plutella xylostella* natural enemies to host pheromone, larval frass, and green leaf cabbage volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 28(1), 131-143. doi: 10.1023/A:1013519003944

Refki, E., Sadok, B., Ali, B., Faouzi, A., Jean, V., & Megido-Rudy, C (2016). Effectiveness of pheromone traps against *Tuta absoluta*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(6), 841-844. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/304717859> Effectiveness of pheromone traps against *Tuta absoluta*

Rikolto (2019). *Producción de repollo con buenas prácticas agrícolas*. (Guía técnica #3). Recuperado de https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/guia_repollo_2.pdf

Rojas, N. (2019). Uso de dos especies de *Trichogramma* para el manejo de *Plutella xylostella* en cultivos de *Brassica oleracea* y estrategias para potenciar sus resultados. (Tesis Licenciatura). Recuperado de la base de datos del Sistema de Biblioteca de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Num. 431357)

Rosa, M.J., Araya, J.E., Guerrero, M.A. y Lamborot, L (1997). Niveles de resistencia de *Plutella xylostella* (L.) a tres insecticidas en varias localidades de la zona central de Chile (1). *Boletín Sanidad Vegetal. Plagas*, 23, 571-581. Recuperado de: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.mapa.gob.es%2Fministerio%2Fpags%2FBiblioteca%2FRevistas%2Fpdf_plagas%252FBSVP-23-04-571-581.pdf&cflen=1529858&chunk=true

- Saéñz, A. (2012). Susceptibilidad de *Plutella xylostella* a *Heterorhabditis* sp. SL0708 (Rhabditida: Heterorhabditidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 38 (1), 94-96. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v38n1/v38n1a16.pdf>
- Sarfraz, M., & Keddie, A. (2005). Conserving the efficacy of insecticides against *Plutella xylostella* (L.) (Lep., Plutellidae). *Journal of applied entomology*, 129(3). 149-157. doi: 10.1111/j.1439-0418.2005.00930.149-157
- Sarfraz, M., Keddie, A., & Dossall, L. (2005) Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: A review. *Biocontrol Science and Technology*, 15(8), 763-789. doi: 10.1080/09583150500136956
- Shah, K., & Jhala, R. (2017). Standardization of Pheromone Traps for the Mass Trapping of *Helicoverpa armigera* (Hubner) Hardwick in Tomato. *Current Agriculture Research Journal*, 5(1), 45-49. doi: 10.12944/CARJ.5.1.05
- Shakir, S., Irfan, S., Akhtar, B., Rehman, S., Daud, M., Taimur, N., & Azizullah, A (2018). Pesticide-induced oxidative stress and antioxidant responses in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. *Ecotoxicology*, 27, 919-935. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/323520948_Pesticide-induced_oxidative_stress_and_antioxidant_responses_in_tomato_Solanum_lycopersicum_seedlings
- Schuster, D.J., Workman, R.B., & Chalfant, R.B. (1984). Evaluation of a visual damage threshold for management of lepidopterous larvae on cabbage with pyrethroid insecticides. *Journal Agriculture Entomology*, 1(4), 318-322. Recuperado de <http://scentsoc.org/Volumes/JAE/v1/4/00014318.pdf>

- Topagi, S., Bhanu, KRM., & Ashok., CT. (2018). Mass Trapping Technique Using Pheromones: A Standalone Method for Management of Diamondback Moth, *Plutella Xylostella* (Linnaeus) (Plutellidae: Lepidoptera) in Cabbage. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 15 (3), 211-232. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/331319288_MASS_TRAPPING_TECHNIQUE_USING_PHEROMONES_A_STANDALONE_METHOD_FOR_MANAGEMENT_OF_DIAMONDBACK_MOTH_PLUTELLA_XYLOSTELLA_LINNAEUS_PLUTELLIDAE_LEPIDOPTERA_IN_CABBAGE
- Vacas, S. (2011). *Uso de semioquímicos en el control de plagas. Estudios básicos y de aplicación*. (Tesis doctoral). Recuperado de la base de datos de RiuNet repositorio UPV (Núm. UPV3667)
- Wang, X., Le, V., Fang, Y., & Zhang, Z. (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
- Witzgall, P., Kirsch, P., & Cork, A. (2010). Sex pheromones and their impact on pest management. *Journal of Chemical Ecology*, 36, 80-100. doi: 10.1007/s10886-009-9737-y
- Zalucki, M., Shabbir, A., Silva, R., Adamson, D., Shu-Sheng, L., & Furlong, M (2012). Estimating the Economic Cost of One of the World's Major Insect Pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): Just How Long is a Piece of String?. *Journal of Economic Entomology*, 105 (4), 1115-1129. doi: 10.1603/EC12107.
- Zamora, E. (2016). *Departamento de Agricultura y Ganadería: El cultivo del repollo*. Universidad de Sonora, México. Recuperado de <http://www.dagus.uson.mx/Zamora/COL%20%20REPOLLO-DAG-HORT-011.pdf>

Zhao, J., Collins, H., & Shelton, A. (2010). Testing insecticide resistance management strategies: mosaic versus rotations. *Pest Management Science*, 66, 1101-1105. doi: 10.1002/ps.1985

10. Anexos

Anexo 1: Instalación de trampas antes de la siembra del repollo, Pacayas, Cartago.



Anexo 2: Proceso de cosecha en parcela bajo el tratamiento con trampeo masivo, Pacayas, Cartago.



Anexo 3: Parcela bajo tratamiento convencional con restos de cosecha y con segmentos por cosechar.
Capellades, Cartago.



Anexo 4: Cuadro con el promedio de captura de polillas/trampa/noche según finca y semana de evaluación. TM: trampeo masivo; TC: tratamiento control.

Parcela	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	Promedio
Parcela 1 (TM1)	0	0.12	0.12	0.14	0.71	0.71	1.21	1.88	2.43	1.62	1.69	-	0.96
Parcela 2 (TC1)	0.97	1.12	1.5	1.55	0.71	0.74	0.78	0.59	0.97	0.046	0.81	-	0.89
Parcela 3 (TM2)	0.5	0.78	0.62	0.59	0.83	0.86	1.55	0.81	-	-	-	-	0.82
Parcela 4 (TC2)	1.47	0.67	1	1	3.09	3.14	4.62	4	1.71	1.86	-	-	2.25
Parcela 5 (TM3)	0.24	0.81	0.78	1.31	1.33	2.07	4.31	7.24	5.64	5.83	3.06	2.52	2.93
Parcela 6 (TC3)	0.38	1.28	1.33	1.23	1.33	1.09	5.62	7.76	5.71	4.2	8	4.67	3.55

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Medias ajustadas y errores estándares de capturas según tratamiento y fecha.

Promedio - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
Control	18,01	4,18	A
Trampeo	12,99	4,24	A

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

Promedio - Medias ajustadas y errores estándares para Fecha

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Fecha	Medias	E.E.	
12	33,13	7,97	A
9	28,82	5,45	A
10	21,29	5,45	A
8	21,27	4,98	A
11	20,68	5,45	A
13	19,58	7,97	A
7	13,22	4,98	B
6	9,53	4,98	B
5	9,30	4,98	B
1	8,36	5,87	B
4	6,30	4,98	B
3	6,21	4,98	B
2	3,82	4,98	B

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

Anexo 6: Análisis de varianza para la variable capturas.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Captura prom. pol/tra/noc	64	0,61	0,48	71,51

*Datos desbalanceados en celdas.
Para otra descomposición de la SC
especifique los contrastes apropiados.. !!*

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	147,35	16	9,21	4,68	<0,0001
Fecha	82,24	11	7,48	3,80	0,0006
Tratamiento	3,49	1	3,49	1,77	0,1893
Unidad	61,63	4	15,41	7,83	0,0001
Error	92,44	47	1,97		
Total	239,79	63			

Anexo 7: Medias ajustadas y error estándar para la variable daño, según fecha y tratamiento.

Dano - Medias ajustadas y errores estándares para Fecha

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Fecha	Medias	E.E.	
8	89,71	14,12	A
9	87,15	14,87	A
6	79,69	13,00	A
7	74,29	14,12	A
5	68,65	13,00	A
4	67,50	13,29	A
3	43,85	13,00	B
1	40,34	14,86	B
2	31,67	13,29	B

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

Dano - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
Control	83,43	12,49	A
Trampeo	46,09	12,12	B

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

Anexo 8: Medidas resumen para la variable daño, según fecha y tratamiento.

Fecha	Tratamiento	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	Control	52,50	17,68	33,67	40,00	65,00
1	Trampeo	35,00	35,36	101,02	10,00	60,00
2	Control	40,00	21,79	54,49	25,00	65,00
2	Trampeo	23,33	25,17	107,85	0,00	50,00
3	Control	51,67	40,72	78,82	5,00	80,00
3	Trampeo	26,25	22,87	87,11	0,00	50,00
4	Control	63,33	24,66	38,94	35,00	80,00
4	Trampeo	71,67	10,41	14,52	60,00	80,00
5	Control	70,00	15,00	21,43	55,00	85,00
5	Trampeo	57,50	39,69	69,02	5,00	100,00
6	Control	88,33	7,64	8,65	80,00	95,00
6	Trampeo	61,25	40,29	65,77	5,00	100,00
7	Control	61,67	17,56	28,47	45,00	80,00
7	Trampeo	82,50	3,54	4,29	80,00	85,00
8	Control	75,00	22,91	30,55	50,00	95,00
8	Trampeo	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
9	Control	75,00	21,21	28,28	60,00	90,00
9	Trampeo	95,00	0,00	0,00	95,00	95,00