

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**EVALUACIÓN DE RECURSOS FLORÍSTICOS PARA PROMOVER EL
CONTROL BIOLÓGICO POR CONSERVACIÓN DE ÁFIDOS (HEMIPTERA:
APHIDIDAE) EN PLANTAS DE CEBOLLINO (*Allium fistulosum*)**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales para optar al grado de Master y título de Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Protección de Cultivos

DANIELA AZOFEIFA JIMENEZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2025

DEDICATORIA

A todas las personas que buscan la armonía entre la agricultura y la biodiversidad, cuyo compromiso y esfuerzo constante promueven el bienestar de todos. Y a aquellas que, con sensibilidad, aprecian a los pequeños seres vivos que comparten con nosotros este planeta. Esta tesis está dedicada a ustedes, quienes entienden que el respeto por la naturaleza es fundamental para el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente expresar mi más sentido agradecimiento a mi comité de tesis, PhD. Paul Eliot Hanson Snortum profesor emérito de la Escuela de Biología de la UCR, PhD. Robin Gómez Gómez profesor de Control de Malezas de la Escuela de Agronomía de la UCR y PhD. Pamela Murillo Rojas profesora de Acarología de la UCR, por su apoyo, consejo y valiosos aportes que contribuyeron enormemente al trabajo final. Mi gratitud eterna a MSc. Fabián Pacheco Rodríguez, por apoyar la investigación en el Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica (CNEAO). Su apoyo ha sido fundamental para el desarrollo de este proyecto. A MSc. Gina Borrero González instructora del CNEAO, por su pasión y dedicación a la investigación y enseñanza. Su apoyo, colaboración y compromiso fue crucial para la realización de los experimentos de campo. A los estudiantes del Técnico en Agricultura Orgánica del CNEAO, por su valiosa colaboración durante el proceso de establecimiento de las parcelas experimentales. Agradezco profundamente al CNEAO no solo por lo que representa, sino también por las personas que, con su esfuerzo y dedicación, fomentan la agricultura sostenible y biodiversa.

A la PhD. María Ángeles Marcos García Catedrática de Zoología de la Universidad de Alicante y a Manuel Ángel Zumbado Arrieta de Srum Agroecología, por sus observaciones oportunas y acertadas, que me permitieron enfocar de manera más precisa los aspectos críticos de la investigación y enriquecieron significativamente el producto final. Al MSc. Roberto Vargas Masís de la Universidad Estatal a Distancia (UNED), por la retroalimentación brindada del análisis estadístico. A las personas expertas que me brindaron

apoyo y orientación en la identificación taxonómica: a PhD. Paul Eliot Hanson Snortum, por su valiosa guía en la identificación de las avispas parasitoides de áfidos; a Manuel A. Zumbado, por su colaboración en la identificación de las abejas; a Nicolás Pérez, por su ayuda en la identificación de los áfidos; y a MSc. Agustín Contreras Arias del Campus Educativo Belén, por su apoyo en la identificación de las plantas. Su conocimiento y generosidad fueron clave para el éxito de este trabajo.

Finalmente, agradezco de corazón a mi familia y amigos, por su apoyo incondicional y amoroso, que me ha dado la fuerza y motivación necesarias para llevar a cabo este trabajo. Sin su respaldo constante, este logro no habría sido posible.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Protección de Cultivos



Dr. Julio Arias Reverón

**Representante de la Decana
Sistema de Estudios de Posgrado**



Dr. Paul Eliot Hanson Snortum

Director de Tesis



Dr. Robin Gómez Gómez

Asesor



Dra. Pamela Murillo Rojas

Asesora



Dra. Catalina Salas Durán

Directora

Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales



Daniela Azofeifa Jiménez

Candidata

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	ii
Hoja de aprobación.....	iv
Índice de contenidos.....	v
Resumen.....	viii
Abstrac.....	ix
Índice de cuadros.....	x
Índice de figuras	xi
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
REFERENCIAS.....	5
OBJETIVOS.....	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos.....	10
CAPÍTULO 1. Selección de recursos florísticos para atraer sírfidos afidófagos (Diptera: Syrphidae) y otros enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae)	11
<hr/>	
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
MATERIALES Y MÉTODOS	16
RESULTADOS.....	20

DISCUSIÓN	40
CONCLUSIONES	46
REFERENCIAS	47
CAPÍTULO 2. Efecto de la siembra de franjas de flores en la atracción de insectos benéficos y el control de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en el cultivo de cebollino (<i>Allium fistulosum</i>).....	56
<hr/>	
RESUMEN	57
ABSTRAC	58
INTRODUCCIÓN	59
MATERIALES Y MÉTODOS	61
RESULTADOS.....	68
DISCUSIÓN	77
CONCLUSIONES	83
REFERENCIAS	85
CONCLUSIONES GENERALES	95
ANEXOS	97
Anexo 1. Datos de siembra de recursos florísticos en la franja de flores al borde del cultivo en las parcelas experimentales.....	97
Anexo 2. Abundancia de abejas nativas en los recursos florísticos capturados en trampas amarillas, en el estudio 1 (2022) y estudio 2 (2023).....	98
Anexo 3. Etapas fenológicas del trigo sarraceno, <i>Fagopyrum esculentum</i> (Apocynaceae). A) Plántula con dos hojas verdaderas (5-8 DDS) ; B y C) inicio de floración (16-30 DDS); D) floración; E) floración-fructificación; F) producción de semilla.....	99
Anexo 4. Etapas fenológicas del moriseco, <i>Bidens alba</i> (Asteraceae). A) Plántula con dos hojas verdaderas ; B) vegetativo; C y D) inicio de floración; E) floración; F)	

producción	de	
semilla.....		100
Anexo 5. Etapas fenológicas del mostaza criolla, <i>Brassica rapa</i> (Brassicaceae). A) Plántula con dos hojas verdaderas; B y C) vegetativo; D) inicio de floración; E) floración-fructificación; F) producción de semilla.....		
		101
Anexo 6. Etapas fenológicas del nabo blanco, <i>Raphanus sativus</i> (Brassicaceae). A) Plántula con dos hojas verdaderas ; B) vegetativo; C) inicio de floración; D y E) floración-fructificación; F) producción de semilla.....		
		102
Anexo 7. Etapas fenológicas del culantro, <i>Coriandrum sativum</i> y eneldo <i>Anethum graveolens</i> (Apiaceae). Plántula con dos hojas verdaderas de culantro (A) y eneldo (B), inicio de floración de culantro (C) y eneldo (D) y floración de culantro (E) y eneldo (F).....		
		103
Anexo 8. Interacciones potenciales entre las plantas de la franja de flores, áfidos y cultivos de hortalizas. Las líneas conectan la planta del borde de flores con la especie de áfido, y a estos con cultivos de hortalizas. En azul la interacción potencial con áfidos que pueden afectar a cultivo de cebollino. Fuentes: Coto et al., 1995; Voegtlin et al. 2024.		
		104

RESUMEN

La siembra de plantas con flores, tanto alrededor como dentro del cultivo, ha demostrado ser eficaz para aumentar las poblaciones de insectos depredadores y parasitoides. Los recursos florísticos son plantas, tanto cultivadas como silvestres, que proporcionan polen y néctar a los enemigos naturales. Sin embargo, no todas las plantas con flores son aptas para funcionar como recursos florísticos. La selección de estas debe basarse en sus relaciones ecológicas, particularmente en su capacidad para atraer a los agentes de control biológico de interés, así como en la posible atracción de herbívoros y patógenos. La comunidad de áfidos (Hemiptera: Aphididae) y sus enemigos naturales constituye un sistema ideal para evaluar este tipo de control biológico. Por un lado, los áfidos (Hemiptera: Aphididae) son plagas clave en diversos cultivos de hortalizas, frutales y ornamentales. Por otro lado, en los agroecosistemas están presentes de manera natural varios insectos depredadores y parasitoides que tienen el potencial de regular las poblaciones de áfidos, tales como los sírfidos afidófagos (Diptera Syrphidae), mariquitas (Coleoptera: Coccinellidae) y avispas parasitoides (Hymenoptera: Braconidae: Aphidinae). El objetivo de esta tesis es estudiar los recursos florísticos que potencializan la regulación natural de áfidos. Para ello, se aborda, en primer lugar, la selección de los recursos florísticos más atractivos para los enemigos naturales de áfidos, y en segundo lugar, se determina si la siembra de una franja de flores al borde del cultivo, compuesta por estos recursos florísticos seleccionados, promueve la presencia de adultos de los enemigos naturales de áfidos en el borde del cultivo y mejora el control de áfidos en las plantas de cebollino adyacentes. La primera etapa, que corresponde a la selección de los recursos florales, se desarrolla en el primer capítulo de la tesis, mientras que la segunda etapa, relacionada con la determinación del efecto sobre la población de enemigos naturales y la abundancia de áfidos, se aborda en el segundo capítulo.

ABSTRAC

Planting flowering plants, both around and within crops, has proven effective in increasing populations of predatory and parasitic insects. Floral resources—which include both cultivated and wild plants—provide pollen and nectar to natural enemies. However, not all flowering plants are suitable as floral resources. Their selection should be based on ecological relationships, particularly their ability to attract biological control agents of interest, as well as their potential to attract herbivores and pathogens. The aphid community (Hemiptera: Aphididae) and their natural enemies form an ideal system to evaluate this type of biological control. On one hand, aphids (Hemiptera: Aphididae) are key pests in various vegetable, fruit, and ornamental crops. On the other hand, agroecosystems naturally host several predatory and parasitic insects capable of regulating aphid populations, such as aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae), ladybugs (Coleoptera: Coccinellidae), and parasitic wasps (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). The objective of this thesis is to study the floral resources that enhance the natural regulation of aphids. To achieve this, the study first addresses the selection of the most attractive floral resources for aphid natural enemies. Second, it evaluates whether planting a flower strip composed of these selected floral resources along the crop border promotes the presence of adult aphid natural enemies and improves aphid control in adjacent chive plants. The first stage, corresponding to the selection of floral resources, is developed in Chapter 1 of the thesis. The second stage, which examines the effect on natural enemy populations and aphid abundance, is addressed in Chapter 2.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Abundancia de los enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae) y otros insectos benéficos asociados a recursos florísticos en un agroecosistema de hortalizas orgánicas, Cartago, Costa Rica, marzo- abril 2022 y 2023.	21
Cuadro 2. Estado de los recursos florísticos evaluados para atraer sírfidos afidófagos y otros enemigos naturales de áfidos durante los muestreos, 2022 y 2023, en términos de porcentaje de cobertura (%) y densidad floral (flores/25cm ²) y la presencia/ausencia de áfidos.....	32
Cuadro 3. Grupos ecológicos de artrópodos asociados al borde con flores y borde sin flores, en parcela de hortalizas, Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica (INA), Oreamuno, Cartago.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Sitio de estudio y ubicación de las parcelas experimentales en el Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica, Oreamuno, Cartago, Costa Rica.....17
- Figura 2.** Visitación floral (durante 10 min. de observación) de *Allograpta* spp. (A-C) y *Toxomerus* CR-3 (B-D) (Diptera: Syrphidae; Syrphinae) asociado a los recursos florísticos del ensayo 1 (marzo- abril 2022) y ensayo 2 (marzo- abril 2023).....24
- Figura 3.** Interacciones entre las especies de sírfidos afidófagos (Diptera: Syrphidae) (amarillo) y los recursos florales (celeste), ensayo 1 (2022) (A) y ensayo 2 (2023) (B), dentro de un agroecosistema de hortalizas orgánico, en el Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica, Cartago, Costa Rica.....25
- Figura 4.** Abundancia promedio de coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) en bloques de recursos florísticos en el 2022 (A) y 2023 (B). El triángulo representa la media aritmética. Letras diferentes representan una significancia estadística de $p < 0,05$26
- Figura 5.** Interacciones entre las especies de Coccinellidae (arriba, barra amarilla) y los recursos florales (abajo, barra azul), en el 2022 (A) y 2023 (B). En el gráfico bipartito las interacciones entre los nódulos son representados por la sección media de color gris.....27
- Figura 6.** Interacciones de otros grupos de insectos benéficos (arriba, barra amarilla) y los recursos florales (abajo, barra azul), en el 2022 (A) y 2023 (B), mediante la medición de visitación floral durante 10 min. por bloque de recursos florísticos. En el gráfico bipartito las interacciones entre los nódulos son representadas por la sección media de color gris.....29
- Figura 7.** Interacciones de abejas nativas (arriba, barra amarilla) y los recursos florales (abajo, barra azul), en el 2022 (A) y 2023 (B), de trampas amarillas. En el gráfico

bipartito las interacciones entre los nódulos son representadas por la sección media de color gris.30

Figura 8. Bloques de recursos florísticos del estudio 1 (Parte I-II), marzo-abril 2022: A-B) eneldo, *Anethum graveolens* (Apiaceae); C-D) trigo sarraceno, *Fagopyrum esculentum* (Polygonaceae); E-F) culantro de castilla, *Coriandrum sativum* (Apiaceae).....33

Figura 9. Bloques de recursos florísticos del ensayo 1 (Parte II-II), marzo-abril 2022: A-B) albahaca alcanforada, *Ocimum kilimandscharicum* (Lamiaceae); C-D) alyssum, *Lobularia maritima* (Brassicaceae); E-F) arúgula, *Eruca sativa* (Brassicaceae).....34.

Figura 10. Bloques de recursos florísticos del estudio 2 (Parte I-II), marzo-abril 2023: A-B) moriseco, *Bidens alba* (Asteraceae); C-D) mostaza criolla, *Brassica napus* (Brassicaceae); E-F) trigo sarraceno, *Fagopyrum esculentum* (Polygonaceae); G-H) nabo blanco, *Raphanus sativus* (Brassicaceae).35

Figura 11. Bloques de recursos florísticos del estudio 2 (Parte II-II), marzo-abril 2023 A-B) eneldo, *Anethum graveolens* (Apiaceae); C-D) arúgula, *Eruca sativa* (Brassicaceae); E-F) alyssum, *Lobularia maritima* (Brassicaceae).....36

Figura 12. Duración de las etapas fenológicas de las nueve especies de plantas evaluadas en los ensayos de atracción de enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae) y la densidad floral (flores/25cm²) registrada durante el ensayo 2.....37

Figura 13. Visitación floral de sírfidos afidófagos (Diptera: Syrphidae: Syrphinae) (A y B) y abundancia de coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) (C y D) en diferentes etapas fenológicas de las plantas evaluadas en el 2022 y 2023. El triángulo marca la media aritmética. Letras diferentes representan diferencias con valor de $P < ,001$39

Figura 14. Ubicación de las parcelas experimentales con flores y sin flores en el primer y segundo ensayo, en el Centro Nacional Especializado en Agricultura orgánica (CNEAO), Oreamuno, Cartago, Costa Rica.....	61
Figura 15. Diseño de las parcelas experimentales del primer ensayo (A) y segundo ensayo (B): de izquierda a derecha se muestra el esquema de la parcela con flores, parcela sin flores y arreglo de los cebollinos. Los cuadros en gris representan el control absoluto donde se excluyeron los enemigos naturales. Áreas de color azul corresponden a la siembra del cebollino.....	63
Figura 16. Parcelas experimentales para evaluar el efecto del uso de recursos florales en la atracción de insectos benéficos y control de áfidos: parcela con flores (A) y parcela sin flores (B) ensayo 1; parcela con flores (A) y parcela sin flores (D) ensayo 2.....	64
Figura 17. Establecimiento del cebollino y vegetación en el borde de las parcelas experimentales para evaluar el efecto del uso de recursos florales en la atracción de insectos benéficos y control de áfidos: A) cebollinos sembrado en maceteras en el ensayo 1; B) cebollinos sembrados en el suelo en el ensayo 2; C) borde sin flores en el ensayo 2; D) borde con flores en el ensayo 2. Las flechas blancas indican las cajas para exclusión de enemigos naturales del tratamiento control.....	66
Figura 18. Efecto del borde con flores en la abundancia promedio de grupos de ecológicos de insectos. Promedio (\pm Error estándar). Los tres asteriscos indican una diferencia significativa entre tratamientos ($p < ,001$).....	69
Figura 19. Efecto del borde de flores en la abundancia de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en plantas de cebollino. Promedio (\pm Error estándar). Letras diferentes indican una diferencia significativa entre tratamientos en cada ensayo ($p < ,001$).....	72
Figura 20. Efecto del borde de flores en la abundancia de enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en plantas de cebollino. Promedio (\pm Error estándar). Letras	

diferentes indican una diferencia significativa entre tratamientos en cada ensayo ($p < ,005$).....73

Figura 21. Enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae) registrados en plantas de cebollino: huevo (A), larva (B) y pupario (C) de sírfidos depredadores de áfidos (Diptera: Syrphidae); avispa parasitoide (Braconidae: Aphidinae) (D); adulto (E) y larva (F) del depredador *Hippodamia* (Coleoptera: Coccinellidae). Flecha indica el huevo de Syrphidae.....74

Figura 22. Efecto del margen de flores sobre el promedio de la abundancia de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en las plantas de cebollino por tratamiento (con flores (FL) y sin flores (SFL)), días después de la inoculación (DDI): A) primer experimento marzo 2023; B) segundo experimento septiembre 2023. Las barras de error representan el error estándar (SE). Los datos están representados en una escala logarítmica en el eje Y para facilitar la visualización de las diferencias en abundancia de áfidos en un amplio rango de valores...76

INTRODUCCIÓN GENERAL

El Control Biológico por Conservación (CBC) se basa en fortalecer la regulación natural de las plagas mediante la creación de hábitats que favorecen la proliferación de enemigos naturales presentes en el agroecosistema (Landis et al., 2000). La siembra de plantas con flores, tanto alrededor como dentro del cultivo, ha demostrado ser eficaz para aumentar las poblaciones de insectos depredadores y parasitoides (Thomas et al., 1991; Chaney, 1998; Landis et al., 2000; Gurr et al., 2003; Rebek et al., 2005; Griffiths et al., 2008; Holland et al., 2008). Esto se debe a que estas plantas proporcionan recursos esenciales como polen, néctar, refugio, sitios de reproducción, vías de tránsito y presas-hospederos alternativos (Landis et al., 2005), fundamentales para el desarrollo, la reproducción y la supervivencia de los enemigos naturales.

Los recursos florísticos son plantas, tanto cultivadas como silvestres, que proporcionan polen y néctar a los enemigos naturales. Sin embargo, no todas las plantas con flores son aptas para funcionar como recursos florísticos. La selección de estas debe basarse en sus relaciones ecológicas, particularmente en su capacidad para atraer a los agentes de control biológico de interés, así como en la posible atracción de herbívoros y patógenos (Pineda & Marcos-García, 2008). Es necesario considerar aspectos agronómicos, como facilidad de siembra y establecimiento, requerimientos nutricionales, riego y manejo (Hatt et al., 2017), así como aspectos biológicos como el periodo de floración, la fenología (Colley & Luna, 2000) y la competencia entre plantas (Hatt et al., 2017), especialmente en el caso de mezclas de semillas.

La comunidad de áfidos (Hemiptera: Aphididae) y sus enemigos naturales constituye un sistema ideal para evaluar este tipo de control biológico. Por un lado, los áfidos son plagas clave en diversos cultivos de hortalizas, frutales y ornamentales (Sánchez et al., 2001; Villalobos et al., 2003), por su capacidad para transmitir virus a las plantas (Dedryver et al., 2010). Por otro lado, en los agroecosistemas están presentes de manera natural varios insectos depredadores y parasitoides que tienen el potencial de regular las poblaciones de áfidos, tales

como los sírfidos afidófagos (Diptera: Syrphidae: Syrphinae), las mariquitas (Coleoptera: Coccinellidae), las crisopas (Neuroptera: Chrysopidae) y las avispas parasitoides (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae).

Las investigaciones realizadas sobre el CBC de áfidos analizan la capacidad de diversas plantas para atraer a sus enemigos naturales (Colley & Luna, 2000; Ambrosino et al., 2006; Pontin et al., 2006; Walton & Isaacs, 2011; Manfrino et al., 2011; Pineda & Marcos-García, 2008; Amaral et al., 2013; Martínez-Uña et al., 2013). Otros estudios se centran en el efecto del consumo de ciertos recursos florísticos sobre la longevidad, fecundidad y descendencia de los enemigos naturales (Van Rijn et al., 2013; Aparicio et al., 2018; Jado et al., 2019), así como en el impacto en la supresión de la plaga (Bertolaccini & Andrada, 2008; Hogg et al., 2011; Araj & Wratten, 2014; Berlatero et al., 2018), un tema que ha ganado creciente interés en los últimos años.

Los recursos más atractivos para los sírfidos han sido las flores de *Coriandrum sativum*, *Lobularia maritima* y *Fagopyrum esculentum* (Colley & Luna, 2000; Ambrosino et al., 2006; Martínez-Uña et al., 2013). Para atraer avispas parasitoides Aphidiinae, se han utilizado con éxito las flores de *F. esculentum* (Araj & Wratten, 2014), mientras que para los coccinélidos, las flores de *C. sativum* (Togni et al., 2016) y *Foeniculum vulgare* (Manfrino et al., 2011) han demostrado ser eficaces. Un aspecto ventajoso es que muchas de estas plantas no son exclusivas de un único enemigo natural, sino que pueden atraer tanto sírfidos, como mariquitas y avispas parasitoides. Por otro lado, se han descartado plantas que no resultan atractivas para los sírfidos, tales como *Calendula officinalis*, *Tagetes patula* (Asteraceae) (Colley & Luna, 2000) y *Cosmos sulphureus* (Asteraceae) (Hogg et al., 2011).

Además, se ha demostrado que las plantas arvenses favorecen una mayor diversidad de agentes de control biológico de áfidos (Burgio et al., 2006; Bertolaccini & Andrada, 2008; Walton & Isaacs, 2011; Franin et al., 2016). No obstante, Amaral et al. (2013) evaluaron 25 especies de arvenses, de las cuales solo *Ageratum conyzoides*, *Bidens pilosa* y *Sonchus oleraceus* (Asteraceae) demostraron ser capaces de atraer una mayor diversidad de depredadores de las familias Coccinellidae y Syrphidae.

Los recursos florísticos destinados a los enemigos naturales también resultan atractivos para los insectos polinizadores (Ambrosino et al., 2006; Pontin et al., 2006), ya que estos dependen de los recursos que las plantas ofrecen, como alimento, refugio y sitios de reproducción. El servicio de polinización es fundamental para mantener la productividad agrícola y la seguridad alimentaria global (Gallai et al., 2009). Se estima que aproximadamente el 70% de los 124 cultivos más importantes para la alimentación humana dependen de este servicio de polinización (Klein et al., 2007).

El enriquecimiento de los cultivos con vegetación florística puede implementarse tanto a pequeña escala, en fincas medianas y pequeñas bajo sistemas de producción orgánica, agroecológica o ecológica (Nicholls & Altieri, 2002; Gurr et al., 2004; Altieri & Nicholls, 2010), como a gran escala en sistemas convencionales de monocultivo (Gurr et al., 2003; Mexzón & Chinchilla, 2003). Además, esta práctica puede aplicarse en sistemas de producción a cielo abierto, favoreciendo a los enemigos naturales presentes en el entorno, así como en sistemas de ambiente protegido, donde se puede incrementar la entrada de enemigos naturales al invernadero o apoyar a aquellos liberados mediante control biológico aumentativo (Pineda, 2008).

Un aspecto valioso y práctico del CBC es que, para aumentar las poblaciones de enemigos naturales en el cultivo, no es necesario reproducir ni liberar depredadores y parasitoides, ni comprarlos para su liberación. En lugar de ello, las prácticas del CBC se centran en sembrar plantas que atraigan a estos enemigos naturales y les provean los recursos esenciales para su alimentación y reproducción. De este modo, el CBC se basa en actividades de siembra y cuidado de plantas, prácticas que son más familiares para los agricultores. Sin embargo, es importante destacar que las plantas seleccionadas para la siembra deben estar respaldadas por investigaciones científicas que demuestren su capacidad para atraer enemigos naturales y su efectividad en el control de plagas, y que no representen un riesgo para el cultivo tal como ser hospederos de enfermedades o de herbívoros de importancia para el mismo.

Considerando la información expuesta, el objetivo de esta tesis es estudiar los recursos florísticos que potencializan la regulación natural de áfidos. Para ello, se aborda, en primer lugar, la selección de los recursos florísticos más atractivos para los enemigos naturales de áfidos, y en segundo lugar, se determina si la siembra de una franja de flores al borde del cultivo, compuesta por estos recursos florísticos seleccionados, promueve la presencia de adultos de los enemigos naturales de áfidos en el borde del cultivo y mejora el control de áfidos en las plantas de cebollino adyacentes. La primera etapa, que corresponde a la selección de los recursos florales, se desarrolla en el primer capítulo de la tesis, mientras que la segunda etapa, relacionada con la determinación del efecto sobre la población de enemigos naturales y la abundancia de áfidos, se aborda en el segundo capítulo.

REFERENCIAS

- Altieri, M.A., & Nicholls, C. (2010) Diseños agroecológicos para aumentar la biodiversidad de entomofauna benéfica en agroecosistemas. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), Medellín, Colombia, 72 pp.
- Amaral, D.S.S.L., Venzon, M., Duarte, M.V.A., Sousa, F.F., Pallini, A., & Harwood, J.D. (2013) Non-crop vegetation associated with chili pepper agroecosystems promote the abundance and survival of aphid predators. *Biological Control* 64, 338–346. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.12.006>
- Ambrosino, M.D., Luna, J.M., Jepson, P.C., & Wratten, S.D. (2006) Relative frequencies of visits to selected insectary plants by predatory hoverflies (Diptera: Syrphidae), other beneficial insects, and herbivores. *Environmental Entomology* 35, 394–400. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.2.394>
- Aparicio, Y., Gabarra, R., & Arnó, J. (2018) Attraction of *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Braconidae) and *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae) to sweet alyssum and assessment of plant resources effects on their fitness. *Journal of Economic Entomology* 111, 533–541. <https://doi.org/10.1093/jee/tox365>
- Araj, S.E., & Wratten, S.D. (2014) Comparing existing weeds and commonly used insectary plants as floral resources for a parasitoid. *Biological Control* 81, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.11.003>
- Bertalero, G., Addebito, P., Bancario, C.C., & Cliente, C.A.L. (2018) Perennial fallow strips support biological pest control in spring cereal in Northern Europe. *Biological Control* 121, 109–118.
- Burgio, G., Ferrari, R., Boriani, L., Pozzati, M., & Van Lenteren, J. (2006) The role of ecological infrastructures on Coccinellidae (Coleoptera) and other predators in weedy field margins within northern Italy agroecosystems. *Bulletin of Insectology* 59, 59–67.

Chaney, W.E. (1998) Biological control of aphids in lettuce using in-field insectaries. In: Pickett, C.H. & Bugg, R.L. (Eds) *Enhancing Biological Control: Habitat Management to Promote Natural Enemies of Agriculture Pest*. University of California Press. Berkeley, CA, USA. 67pp.

Colley, M.R., & Luna, J.M. (2000) Relative attractiveness of potential beneficial insectary plants to aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Environmental Entomology* 29, 1054–1059. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-29.5.1054>

Dedryver, C.A., Le Ralec, A., & Fabre, F. (2010) The conflicting relationships between aphids and men: A review of aphid damage and control strategies. *Comptes Rendus - Biologies* 333, 539–553. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.03.009>

Franin, K., Barić, B., & Kuštera, G. (2016) The role of ecological infrastructure on beneficial arthropods in vineyards. *Spanish Journal of Agricultural Research* 14(1), 8. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016141-7371>

Gallai, N., Salles, J.M., Settele, J., & Vaissière, B.E. (2009) *Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline*. *Ecological Economics* 68, 810–821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>

Griffiths, G.J.K., Holland, J.M., Bailey, A., & Thomas, M.B. (2008) Efficacy and economics of shelter habitats for conservation biological control. *Biological Control* 45, 200–209. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.09.002>

Gurr, G.M., Wratten, S.D., & Luna, M.J. (2003) Multi-function agricultural biodiversity: Pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology* 4, 107–116. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00122>

Gurr, G.M., Scarratt, S.L., Wratten, S.D., Berndt, L., & Irvin, N. (2004). Ecological engineering, habitat manipulation and pest management. In Gurr, G.M., Wratten, S.D. & Altieri, M.A. (Eds.). *Ecological engineering for pest management: Advances in habitat manipulation for arthropods*. CSIRO Publishing. Collingwood, Victoria.

- Haaland, C., Naisbit, R.E., & Bersier, L.F. (2011) Sown wildflower strips for insect conservation: A review. *Insect Conservation and Diversity* 4, 60–80. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2010.00098.x>
- Hatt, S., Uyttenbroeck, R., Lopes, T., Mouchon, P., Chen, J., Piqueray, J., Monty, A., & Francis, F. (2017) Do flower mixtures with high functional diversity enhance aphid predators in wildflower strips?. *European Journal of Entomology* 114, 66–76. <https://doi.org/10.14411/eje.2017.010>
- Hogg, B.N., Nelson, E.H., Mills, N.J., & Daane, K.M. (2011) Floral resources enhance aphid suppression by a hoverfly. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 141, 138–144. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2011.01174.x>
- Holland, J.M., Oaten, H., Southway, S., & Moreby, S. (2008) The effectiveness of field margin enhancement for cereal aphid control by different natural enemy guilds. *Biological Control* 47, 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.06.010>
- Jado, R.H., Araj, S.E., Abu-Irmaileh, B., Shields, M.W., & Wratten, S.D. (2019) Floral resources to enhance the potential of the parasitoid *Aphidius colemani* for biological control of the aphid *Myzus persicae*. *Journal of Applied Entomology* 143, 34–42. <https://doi.org/10.1111/jen.12556>
- Klein, A.M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B* 274, 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Landis, D.A., Wratten, S.D., & Gurr, G.M. (2000) Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 45, 175–201.
- Landis, D.A., Menalled, F.D., Costamagna, A.C., & Wilkinson, T.K. (2005) Manipulating plant resources to enhance beneficial arthropods in agricultural landscapes. *Weed Science* 53, 902–908. <https://doi.org/10.1614/WS-04-050R1.1>

Manfrino, R.G., Salto, C.E. & Zumoffen, L. (2011) Estudio de las asociaciones áfidos-entomófagos sobre *Foeniculum vulgare* (Umbelliferae) y *Conyza bonariensis* (Asteraceae) en la región central de Santa Fe, Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 70, 99–109.

Martínez-Uña, A., Martín, J., Fernández-Quintanilla, C., & Dorado, J. (2013) Provisioning floral resources to attract aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae) useful for pest management in central Spain. *Journal of Economic Entomology* 106, 2327–2335.

Mexzón, R., & Chinchilla, C.M. (2003) Especies vegetales atrayentes de la entomofauna benéfica en plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. *Palmas* 24, 33–57.

Nicholls, C., & Altieri, M. (2002) Biodiversidad y diseño agroecológico: un estudio de caso de manejo de plagas en viñedos. *Manejo Integrado de Plagas* 65, 50–64.

Pineda, A.M. (2008). Los sírfidos (Diptera: Syrphidae) en el control integrado de plagas de pulgón en cultivos de pimiento de invernadero. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante. 172p.

Pineda, A.M., & Marcos-García, M. (2008) Use of selected flowering plants in greenhouses to enhance aphidophagous hoverfly populations (Diptera: Syrphidae). *Annales De La Societe Entomologique De France* 44, 487–492. <https://doi.org/10.1080/00379271.2008.10697584>

Pontin, D.R., Wade, M.R., Kehrl, P., & Wratten, S.D. (2006) Attractiveness of single and multiple species flower patches to beneficial insects in agroecosystems. *Annals of Applied Biology* 148, 39–47. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.00037.x>

Rebek, E.J., Sadof, C.S., & Hanks, L.M. (2005) Manipulating the abundance of natural enemies in ornamental landscapes with floral resource plants. *Biological Control* 33, 203–216. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.02.011>

Sánchez, M.V., Agüero, R., & Rivera, C. (2001) Plantas hospederas de *Aphis gossypii* (Aphididae), vector de virus del melón *Cucumis melo* (Cucurbitaceae) en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 49, 305–311.

Thomas, M.B., Wratten, S.D. & Sotherton, N.W. (1991) Creation of “island” habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: predator densities and emigration. *Journal of Applied Ecology* 28, 906–917. <https://doi.org/10.2307/2404216>

Togni, P.H.B., Venzon, M., Muniz, C.A., Martins, E.F., Pallini, A., & Sujii, E.R. (2016) Mechanisms underlying the innate attraction of an aphidophagous coccinellid to coriander plants: Implications for conservation biological control. *Biological Control* 92, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.10.002>

Van Rijn, P.C.J., Kooijman, J., & Wäckers, F.L. (2013) The contribution of floral resources and honeydew to the performance of predatory hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Biological Control* 67, 32–38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.06.014>

Walton, N.J. & Isaacs, R. (2011) Influence of native flowering plant strips on natural enemies and Herbivores in adjacent blueberry fields. *Environmental Entomology* 40, 697–705. <https://doi.org/10.1603/EN10288>

OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar los recursos florísticos que potencien la regulación natural de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en plantas de cebollino (*Allium fistulosum*)

Objetivos específicos

Evaluar la riqueza y abundancia de sírfidos afidófagos y otros enemigos naturales de áfidos en varios recursos florales seleccionados

Evaluar si la abundancia y riqueza de enemigos naturales de áfidos aumenta con la presencia de franjas de flores en el borde del cultivo de cebollino (*Allium fistulosum*)

Evaluar si la presencia de franjas de flores en el borde del cultivo conduce a una reducción del número de áfidos en las plantas de cebollino (*Allium fistulosum*) adyacentes

CAPÍTULO 1.

Selección de recursos florísticos para atraer sírfidos afidófagos (Diptera: Syrphidae) y otros enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae)

RESUMEN

Proveer plantas con flores acompañantes a los cultivos es una práctica fundamental de control biológico por conservación que requiere la identificación de los recursos claves para atraer enemigos naturales. El objetivo de estudio fue evaluar la riqueza y abundancia de sírfidos afidófagos y otros enemigos naturales de áfidos en varios recursos florales seleccionados. Se sembraron nueve recursos florales en bloques de 5m² y se registró la abundancia de enemigos naturales de áfidos en dos estudios de atracción realizados en 2022 y 2023. Los sírfidos afidófagos y los coccinélidos fueron los depredadores más abundantes. Las especies del sírfido *Allograpta* fueron más abundantes en *Anethum graveolens*, *Brassica napus* y *Eruca sativa*, mientras que la especie *Toxomerus* CR-3 fue más abundante en las flores de *Coriandrum sativum*. Por otro lado, *Lobularia maritima* también fue visitada por estos sírfidos afidófagos. Los coccinélidos fueron más abundantes en *A. graveolens*, *Bidens alba*, *B. napus* y *E. sativa*. La presencia de áfidos en los recursos florales aumentó la abundancia de coccinélidos, en un factor de 21,12 (IC95%: 6,88, 79,04, P< ,001) y aumentó la visitación floral de los sírfidos en un factor de 2,05 (IC95%: 1,68, 2,48, P< ,001). La densidad de flores no tuvo un impacto significativo en la abundancia de sírfidos afidófagos y coccinélidos. Se determinó el periodo de floración de todas las plantas evaluadas, que varió entre 2 a 4 meses para las especies seleccionadas. Se destacó la importancia de la selección de recursos florísticos basado en su capacidad para atraer a especies de enemigos naturales y se demostró que tanto los sírfidos afidófagos, como los coccinélidos utilizan los recursos florísticos de manera selectiva.

ABSTRACT

Providing flowering companion plants to crops is a fundamental practice of conservation biological control that requires identifying key resources to attract natural enemies. The objective of the study was to evaluate the richness and abundance of aphidophagous syrphid flies and other natural enemies of aphids in several selected floral resources. Nine floral resources were planted in 5m² blocks, and the abundance of aphid natural enemies was recorded in two attraction trials conducted in 2022 and 2023. Aphidophagous hoverflies and coccinellids were the most abundant predators. The hoverflies *Allograpta* species were more abundant on *Anethum graveolens*, *Brassica napus*, and *Eruca sativa*, while the species *Toxomerus* CR-3 was more abundant on the flowers of *Coriandrum sativum*. On the other hand, *Lobularia maritima* was also visited by these aphidophagous hoverflies. Coccinellids were more abundant on *A. graveolens*, *Bidens alba*, *B. napus* and *E. sativa*. The presence of aphids increased the abundance of coccinellids by a factor of 21,12 (95% CI: 6,88, 79,04, P< ,001) and increased the floral visitation of syrphids by a factor of 2,05 (IC95%: 1,68, 2,48, P< ,001). The flower density did not have a significant impact on the abundance of aphidophagous hoverflies and coccinellids. The flowering period of all evaluated plants was determined, varying between 2 to 4 months for the selected species. The importance of selecting floral resources based on their ability to attract natural enemy species is highlighted, and it is shown that both aphidophagous hoverflies and coccinellids use floral resources in a selective manner.

INTRODUCCIÓN

Muchos de los insectos depredadores y parasitoides de insectos plaga, dependen de recursos florísticos para su crecimiento, desarrollo y reproducción (Landis, Wratten & Gurr, 2000). Las larvas de sírfidos afidófagos (Diptera: Syrphidae: Syrphinae) son depredadoras voraces de áfidos (Hemiptera: Aphididae), mientras que los adultos se alimentan de néctar como fuente de energía y de polen para la gametogénesis (Haslett, 1989; Irvin et al., 1999), siendo además necesario para incrementar la longevidad de los adultos, aumentar la fecundidad y mejorar la viabilidad de la descendencia (Haslett, 1989; Irvin et al., 1999; Azzouz et al., 2004; Berndt & Wratten, 2005; Généau et al., 2012; Pinheiro et al., 2013; Laubertie, Wratten & Hemptinne, 2012; Van Rijn, Kooijman & Wäckers, 2013; Togni et al., 2016; Fonseca et al., 2017; Amorós-Jiménez et al., 2017). Tanto adultos como larvas de coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) son cazadores activos, además, los adultos de algunas especies complementan su dieta con polen (Lundgren, 2009), lo que aumenta su éxito reproductivo (Stowe, Michaud & Kim, 2021) e incrementa el periodo de supervivencia en ausencia de áfidos (Mercer et al., 2020). Las avispas parasitoides de áfidos del género *Aphidius* (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) utilizan recursos azucarados como néctar y ligamaza, lo que aumenta su longevidad y tasas de parasitismo (Azzouz et al., 2004; Tylianakis et al., 2004).

Algunas prácticas agrícolas modernas, como el uso intensivo de herbicidas, reducen la diversidad de flora acompañante cercana a los cultivos, lo que puede limitar las poblaciones de enemigos naturales y por lo tanto, su eventual beneficio sobre el agroecosistema. Proveer recursos florísticos (plantas con flores) acompañantes a los cultivos es una práctica fundamental de control biológico por conservación (CBC) (Landis et al., 2000), que no solo ha demostrado su capacidad para aumentar las poblaciones de enemigos naturales (Landis et al., 2000; Pineda & Marcos-García, 2008; Walton & Isaacs, 2011; Ribeiro & Gontijo, 2017), sino que además tiene un efecto positivo sobre la regulación de las poblaciones de insectos herbívoros (Fitzgerald & Solomon, 2004; Gontijo et al., 2013). A pesar de los múltiples beneficios del CBC existe poca información sobre cuáles plantas utilizar para favorecer las

poblaciones de insectos benéficos. No obstante, no todas las plantas con flores son accesibles para todos los enemigos naturales, por lo que se requiere identificar cuáles son las especies de plantas clave o las más utilizadas por los agentes de control biológico (Pontin et al., 2006).

Los sírfidos utilizan los recursos florísticos de manera selectiva y se han estudiado las preferencias en cuanto al color, morfología, tamaño de flor, abundancia floral y tamaño de los parches florales (Sutherland, Sullivan & Poppy, 2001). La selección de las plantas, puede ser atribuida a una combinación de factores que aparte de las características florales, incluye en ocasiones, la presencia de presas/hospederos alternativos y de refugio. Desde un punto de vista práctico, es importante tomar en cuenta aspectos agronómicos como la facilidad de siembra, establecimiento de las plantas, requerimientos nutricionales, riego, prácticas de manejo (Gillespie et al., 2011; Hatt et al., 2017), periodo de floración (Colley & Luna, 2000) y la posible atracción de herbívoros y patógenos (Landis et al., 2000; Pineda & Marcos-García, 2008).

Se han realizado varios estudios sobre la selección de recursos florísticos para atraer enemigos naturales de áfidos; la mayoría de ellos en climas templados. El culantro de castilla (*Coriandrum sativum* L. (Apiaceae)), alyssum (*Lobularia maritima* (L.) Desv. (Brassicaceae)) y trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench (Polygonaceae)) son recursos frecuentemente utilizados por sírfidos afidófagos (Colley & Luna, 2000; Ambrosino et al., 2006; Martínez-Uña et al., 2013). Asimismo, *F. esculentum* se ha usado con éxito para atraer avispa parasitoides Aphidiinae (Araj & Wratten, 2014) y *C. sativum* (Togni et al., 2016) e hinojo *Foeniculum vulgare* Miller (Apiaceae) (Manfrino, Salto & Zumoffen, 2011). para atraer coccinélidos. Diferentes plantas arvenses como *Ageratum conyzoides* L., *Bidens pilosa* L. y *Sonchus oleraceus* L. (Asteraceae) también favorecen una mayor diversidad de agentes de control biológico de áfidos como por ejemplo Coccinellidae y Syrphidae (Bertolaccini, Núñez-Pérez & Tizado, 2008; Burgio et al., 2006; Walton & Isaacs, 2011; Amaral et al., 2013).

En Costa Rica, el principal estudio de selección de plantas para el desarrollo de una estrategia de CBC fue realizado por Mexzón y Chinchilla (2003) mediante el registro de insectos

benéficos y herbívoros asociados a arvenses sembradas en bloques en plantaciones de palma aceitera. Otras aproximaciones fueron realizadas mediante el estudio de insectos benéficos asociados a cultivos de cobertura en plantaciones de café (Vargas, 2020), a comunidades de arvenses en caña de azúcar (Sáenz, Cadet-Piedra & Gómez-Gómez, 2023) y hortalizas (Azofeifa, 2016). Sin embargo, poco se ha investigado sobre los insectos depredadores y parasitoides locales y los recursos florísticos claves para favorecer sus poblaciones. El objetivo de esta investigación fue evaluar la riqueza y abundancia de sírfidos afidófagos y otros enemigos naturales de áfidos en varios recursos florales seleccionados; identificados como recursos claves en estudios anteriores (Eneldo *Anethum graveolens* L. (Apiaceae), moriseco *Bidens alba*, *C. sativum*, *F. esculentum* y *L. maritima*) y basado en observaciones propias (mostaza *Brassica napus* L., (Brassicaceae), arúgula *Eruca sativa* L. (Brassicaceae), nabo blanco *Raphanus sativus* L., (Brassicaceae), albahaca alcanforada *Ocimum kilimandscharicum* Gürke (Lamiaceae)), mediante dos estudios de atracción realizados en dos años consecutivos en un agroecosistema de hortalizas orgánicas ubicado en Oreamuno de Cartago, Costa Rica. Se hipotetiza que los enemigos naturales de áfidos utilizan los recursos florales de manera selectiva, de tal manera que se pueden descartar recursos florales menos atractivos y seleccionar recursos florísticos más atractivos para los enemigos naturales de interés, lo cual es fundamental para optimizar estrategias de control biológico por conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se realizó en el Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica (CNEAO) del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), ubicado en La Chinchilla de de Oreamuno, Cartago a 1600 m.s.n.m, en las coordenadas geográficas, 9°52'55.20"N 83°53'41.12"W; en la Región de Desarrollo Central Oriental de Costa Rica, dentro de la zona de vida bosque húmedo montano bajo, con temperaturas que oscilan entre 12 °C y 18 °C y precipitaciones entre los 2000 y 4000 mm anuales. El establecimiento de las parcelas se realizó en lotes sembrados regularmente con hortalizas, libres de recursos florísticos en el borde y alrededores (Fig. 1).

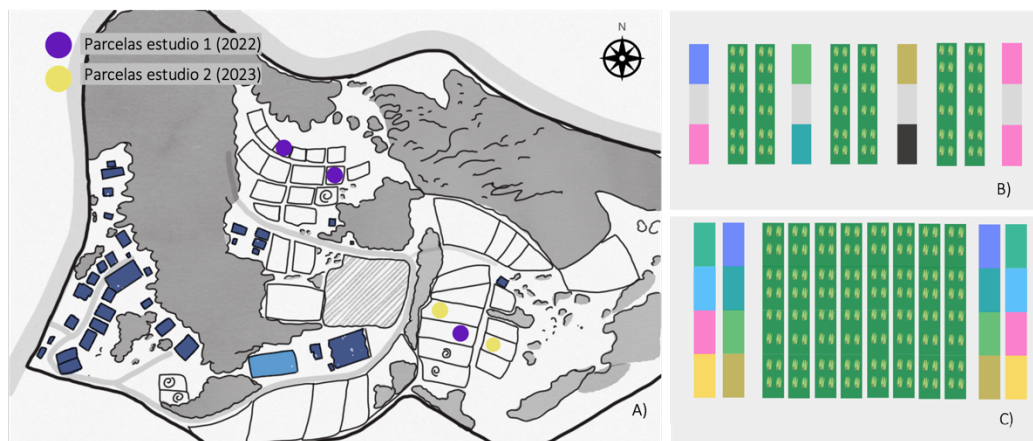


Figura 1. Sitio de estudio y ubicación de las parcelas experimentales en el Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica, Oreamuno, Cartago, Costa Rica: A) ubicación de las parcelas en el 2022 y 2023, B) esquema de parcela experimental del estudio 1 (2022), C) esquema de la parcela experimental del estudio 2 (2023).

Parcelas experimentales

Se establecieron parcelas de 20 m de largo y 15 m de ancho, con cuadrantes de flores acompañados de cultivos hospederos de áfidos, cebollino (*Allium fistulosum* L.), kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica* L.) y lechuga (*Lactuca sativa*), con el objetivo asegurar una población de enemigos naturales de áfidos. Cada recurso florístico se sembró en bloques de 5 m² (1m de ancho y 5 m de largo). Los sitios de paso y el perímetro de cada parcela (1m alrededor) se mantuvieron libres de arvenses con flores.

Se realizaron dos estudios en dos años consecutivos, 2022 y 2023. En el segundo estudio se realizaron modificaciones sobre la cantidad de parcelas según la disponibilidad de lotes libres en el CNEAO (Fig. 1A), en el 2022 se establecieron tres parcelas, con un bloque por especie de recurso florístico por parcela (Fig. 1B) y en el 2023 se establecieron dos parcelas pero con dos bloques por especie de recurso florístico por parcela (Fig. 1C), con el fin de compensar la disminución del número de parcelas y de esta manera no modificar el esfuerzo de muestreo en cada estudio. Además, en el 2023 después de medir la atracción de enemigos naturales se

llevo a cabo otra investigación sobre el efecto del cultivo, por lo que se tuvo que cambiar la ubicación de los bloques de flores. En el 2022 se ubicaron dentro de la parcela (Fig. 1B), mientras que en el 2023 se ubicaron en el borde según las necesidades de la otra investigación (Fig. 1C). Por último, se decidió variar los recursos florísticos utilizados en el 2023 basado en los resultados obtenidos en el 2022. Se utilizaron seis recursos florísticos en el 2022: eneldo, *A. graveolens* (Apiaceae); culantro de castilla, *C. sativum* (Apiaceae); arúgula, *E. sativa* (Brassicaceae); trigo sarraceno, *F. esculentum* (Polygonaceae); alyssum, *L. maritima* (Brassicaceae) y albahaca alcanforada *O. kilimandscharicum* (Lamiaceae). En el 2023 se incluyeron los mismos recursos, excepto la Albahaca alcanforada, *O. kilimandscharicum*; y se agregó el moriseco, *B. alba* (Asteraceae); nabo blanco o daikon, *R. sativus* y mostaza criolla, *B. napus* (Brassicaceae).

El estudio 1 se estableció entre el 12 de octubre 2021 y 23 de febrero del 2022 con una siembra escalonada para sincronizar la floración de todos los bloques en marzo y abril del 2022; el trigo sarraceno *F. esculentum* se sembró en tres bloques escalonados para prolongar el periodo de floración. En el estudio 2 se sembraron todos los bloques al mismo tiempo el 08 de febrero 2023. Las plantas sembradas a partir de almácigo fueron *L. maritima* (Brennan 2013), *E. sativa*, *A. graveolens*, *B. alba* y *B. napus*, a partir de bolsa fue *O. kilimandscharicum* y a partir de semilla en siembra directa fueron *F. esculentum*, *R. sativus* y *C. sativum* (Anexo 1, datos de siembra).

Muestreo

Se realizaron seis muestreos por estudio, entre el 3 de marzo al 8 de abril del 2022 (estudio 1) y del 28 de marzo al 20 de abril del 2023 (estudio 2), en cada ocasión se muestrearon tres bloques por especie de recurso florístico. Los muestreos sistemáticos se realizaron de 7:00 am a 1:00 pm, siguiendo el diseño en que fueron sembrados los bloques y rotando el punto de inicio en cada muestreo; de tal manera que cada bloque fuera evaluado a diferente hora en cada muestreo, con el propósito de incluir la variabilidad temporal de la actividad de los insectos.

Cada grupo de insectos de interés fue muestreado de manera diferente; **Syrphidae**, se recorrió cada bloque de recurso florístico y se anotó el número de individuos visitando las flores por género o especie durante 10 minutos (visitas/10 min). El conteo se realizó en zonas de observación de 0.5 m por 0.3 m. **Coccinellidae**, se realizó un conteo de individuos en tres puntos de muestreo (inicio, medio y final) por cada bloque de recurso florístico. Durante el primer muestreo y cada vez que se observaron especies nuevas, se recolectaron de uno a cuatro especímenes de sírfidos y coccinélidos para verificar la identificación taxonómica de las especies visitando las flores. **Aphidiinae**, se colocaron dos trampas amarillas con agua jabonosa por cada bloque de recurso florístico, de 7 am a 1 pm. Además, durante el muestreo de visitación floral y las trampas amarillas se recolectaron datos de otros insectos benéficos, principalmente abejas y sírfidos de la subfamilia Eristalinae. La identificación de los especímenes recolectados se basó en la clave de Syrphidae para Mesoamérica no publicada de C.F. Thompson, la clave de Coccinellidae de Costa Rica recopilada por Paul E. Hanson, las descripciones de especies de Coccinellidae publicadas por González (2006), la clave dicotómica de parasitoides e hyperparasoides de áfidos (Zamora Mejías & Hanson, 2017) y las abejas fueron identificadas por Manuel Zumbado Arrieta.

En cada estudio se midió el estado de las plantas mediante la estimación del porcentaje de cobertura de suelo, cobertura vegetal, cobertura de flores, cobertura de semillas y cobertura de planta enferma, con el objetivo de comprobar la sincronización de la etapa fenológica y detectar posibles problemas con el establecimiento de las plantas. Se utilizó un cuadrante de 25 cm por 25 cm con una cuadrícula de 5 cm por 5 cm, colocado en tres puntos por bloque de cada recurso florístico. Se tomó una fotografía de cada cuadrante y a partir de ella se calculó el área relativa ocupada por cada tipo de cobertura (suelo, vegetal, flores, semillas y planta enferma). Para estimar la densidad floral se contabilizó la cantidad de flores presente en una cuadrícula por cada cuadrante. En el estudio 1 se registró tres veces el estado de los recursos florísticos al inicio del periodo de muestreo. En el estudio 2, el registro se realizó en cada momento del muestreo y se continuó el seguimiento hasta la etapa de producción semilla con el objetivo de conocer el periodo de floración de los recursos florísticos.

Análisis estadístico

El análisis de los sírfidos afidófagos se realizó con las especies que presentaron la mayor visitación floral en cada ensayo, *Allograpta* spp. y *Toxomerus* CR-3 (Cuadro 1). Los coccinéllidos se analizaron a nivel de familia debido a la poca abundancia registrada a nivel de especie. Los registros de avispas parasitoides fueron escasos por lo que no se aplicó ningún modelo estadístico para analizarlos.

Se realizaron modelos lineales generalizados (GLM) para evaluar si la densidad floral (flores/cm²), cobertura de suelo (%), cobertura vegetativa (%), cobertura de flores (%), cobertura de semillas (%) y cobertura de enfermedad (%), variaron según el recurso florístico. Se realizaron varios Modelos Binomiales Negativos (NB) de la visitación floral de Syrphidae (*Allograpta* spp. y *Toxomerus* CR-3) y la abundancia de coccinéllidos, con diferentes combinaciones de las variables explicativas (planta, etapa fenológica, cobertura de flores (%), densidad floral (flores/25cm²) y áfidos (presencia/asusencia)). Para seleccionar el modelo que se ajustó mejor a los datos, se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC). Se realizaron gráficos de cajas con la media aritmética (promedio) de la abundancia de Syrphidae y Coccinellidae en los diferentes recursos florísticos y se agregaron los valores de significancia estadística detallado en el modelo. Todas las interacciones entre los recursos florísticos y los enemigos naturales de áfidos a nivel de especie, se detallan en los gráficos bipartitos realizados con el paquete R de Bipartite. Se realizaron análisis descriptivos de los datos de visitación floral y abundancia relativa de los otros grupos de insectos benéficos asociados a los recursos florísticos, mediante gráficos bipartitos realizados con el paquete R de Bipartite y cuadros de abundancia relativa.

RESULTADOS

Los enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae) encontrados en los bloques de recursos florísticos fueron diez especies de sírfidos afidófagos (Syrphidae: Syrphinae), con una mayor abundancia relativa de *Allograpta* spp. (60,05% y 61,31%) y *Toxomerus* CR-3 (30,8% y 13,41%) en el 2022 y 2023, respectivamente; ocho especies de coccinéllidos (Coccinellidae), de las cuales *Harmonia axyridis* y *Cycloneda emarginata* fueron las más

abundantes, y las avispas parasitoides de áfidos (Braconidae: Aphidiinae) con dos especies, *Aphidius colemani* y *Diaeretiella rapae* (Cuadro 1).

Se registraron otros grupos de insectos benéficos asociados a los recursos florísticos; sírfidos descomponedores de materia orgánica de la subfamilia Eristalinae, con dos especies predominantes *Palpada furcata* (70% y 62,68%) y *Palpada mexicana* (30% y 19,28%), en ambos estudios, 2022 y 2023 respectivamente; abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) (58,27% y 60,49%), *Apis mellifera* (Apidae: Apini) (23,33% y 23,25%), seguido por *Bombus mexicanus* (11,49% y 7,10%) y otras abejas nativas (6,91% y 2,27%); y vespidae.

Además, en las muestras de trampas amarillas en el 2022 se encontraron 13 especies/morfoespecies de abejas nativas perteneciente a las familias: Andrenidae (2 especies), Apidae (Xylocopini (1 especie), Meliponini (3 especies)), Colletidae (1 especie) y Halictidae (6 especies), de las cuales el halictido *Lassioglossum* spp. fue la más abundante con un 74,20% de abundancia relativa (n=221). En el 2023, se registraron 10 especies/morfoespecies de abejas nativas de las familias Andrenidae (1 especie), Apidae (Exomalopsini (1 especie), Meliponini (4 especies)) y Halictidae (4 especies), con *Lassioglossum* spp. (35,05%) y *Partamona orizabaensis* (23,71%) (n=97) como las más abundantes.

Cuadro 1. Abundancia de los enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae) y otros insectos benéficos asociados a recursos florísticos en un agroecosistema de hortalizas orgánicas, Cartago, Costa Rica, marzo- abril 2022 y 2023.

Insectos	2022		2023	
	Abundancia absoluta	Abundancia relativa (%)	Abundancia absoluta	Abundancia relativa (%)
Diptera: Syrphidae: Syrphinae (Total) *	766	%	1021	%
<i>Allograpta</i> spp. (1)	460	60,05	626	61,31
<i>Dioprosopa clavata</i> (Fabricius 1794)	3	0,391	6	0,58
<i>Paragus haemorrhus</i> Meigen 1822.	35	4,56	9	0,88
<i>Toxomerus</i> CR-3 (Thompson, nsp)	236	30,80	137	13,41
<i>Toxomerus mutuus</i> (Say 1829)	7	0,91	115	11,26
<i>Toxomerus watsoni</i> (Curran 1930)	25	3,26	104	10,18
<i>Toxomerus pallipes</i> (Bigot, 1884)	1	0,13	19	1,86
<i>Toxomerus ochraceus</i> (Hull, 1942)	1	0,13	-	-

<i>Toxomerus</i> CR-12 (Thompson, nsp) (2)	-	-	4	0,39
<i>Toxomerus</i> sp.1 (3)	1	0,13	3	0,29
Diptera: Syrphidae: Eristalinae (Total) *	40	%	67	%
<i>Palpada furcata</i> (Wiedemann, 1819)	28	70	42	62,68
<i>Palpada mexicana</i> (Macquart, 1847)	12	30	13	19,48
<i>Palpada</i> (Gymnopalpa group) sp.1	-	-	2	2,98
<i>Palpada scutellaris</i> (Fabricius, 1805)	-	-	7	10,45
<i>Orhonevra flukei</i> (Sedman, 1966)	-	-	3	4,47
Coleoptera: Coccinellidae (Total) **	165	%	83	%
Coccinellinae: Coccinellini				
<i>Coleomegilla maculata</i> (De Geer, 1775)	-	-	14	16,86
<i>Cycloneda emarginata</i> (Mulsant, 1850)	15	9,09	18	21,68
<i>Cycloneda sallei</i> (Mulsant, 1850)	-	-	1	1,20
<i>Hyppodamia convergens</i>	9	5,45	-	-
<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1772)	138	83,63	45	54,21
<i>Psyllobora</i> sp.	-	-	4	4,81
Scymininae: Scymnini				
<i>Nephus</i>	3	1,92	-	-
<i>Scymnus</i>	-	-	1	1,20
Braconidae: Aphidiinae (Total)**	17	%	7	%
<i>Diaeretiella rapae</i> (M Intosh, 1855)	17	100	6	85,71
<i>Aphidius colemani</i> (Dalman, 1820)	-	-	1	14,29
Abejas nativas (Total) *	2318	%	2774	%
<i>Apis mellifera</i> L. (Apini)	581	23,33	645	23,25
<i>Bombus mexicanus</i> Cresson, 1878 (Bombini)	286	11,49	197	7,10
Meliponini (4)	1451	58,27	1678	60,49
Otras abejas nativas (5)	172	6,91	264	2,27
Abejas nativas (Total) **	221	%	96	%
ANDRENIDAE				
<i>Calliopsis</i> sp.1	1	0,45	0	0,00
<i>Protadrena</i> spp.	12	5,43	2	2,06
APIDAE				
<i>Ceratina</i> spp. (Xylocopini)	8	3,62	0	0,00
<i>Exomalopsis</i> sp. (Exomalopsini)	0	0	1	1,03
<i>Geotrigona lutzi</i> (Camargo & Moure, 1996) (Meliponini)	3	1,36	3	3,09
<i>Partamona orizabaensis</i> (Strand, 1919) (Meliponini)	1	0,45	23	23,71
<i>Scaptotrigona subobscuripennis</i> (Schwarz, 1951) (Meliponini)	0	0	1	1,03
<i>Trigona corvina</i> (Cockerell, 1913)	7	3,17	11	11,34
COLLETIDAE				
<i>Hylaeus</i> sp.	1	0,45	0	0,00
HALICTIDAE				
<i>Augochlora</i> spp.	8	3,62	3	3,09
<i>Augochlorella</i> spp.	2	0,90	3	3,09
<i>Augochlorini</i> sp.	1	0,45	0	0,00
<i>Lasioglossum</i> spp.	164	74,21	34	35,05
<i>Neocorynura</i> spp.	6	2,71	15	15,46
<i>Sphecodes</i> spp.	7	3,17	0	0,00
Vespidae *	156	%	223	%

(*) Datos colectados por visitación floral (10 min/bloque de planta)

(**) Datos colectados conteo directo y trampas amarillas

(1) se identificaron individuos de *Allograpta obliqua* (Say 1823) y *Allograpta exotica* (Wiedemann 1830), sin embargo, el registro se realizó a nivel de género debido a la dificultad de distinguir las especies durante el conteo en las flores.

(2) *Toxomerus* CR-3 y *Toxomerus* CR-12 son especies determinadas por C.F.Thompson pero no han sido publicadas.

Syrphidae: Syrphinae

Se encontraron diferencias en el uso de los recursos florísticos por parte de los sírfidos afidófagos en los dos estudios realizados. En el 2022, las flores más visitadas por *Allograpta* spp. fueron *A. graveolens* con 6,18 veces (IC95%: 2,07, 17,68, $p < 0,001$) más visitas que el promedio de visitación floral de *F. esculentum* (1,27 visitas/10min (IC95%: 0,53, 3,00)) (Fig. 2A), seguida por *E. sativa* con 5,43 veces (IC95%: 1,74, 16,86, $p < 0,05$) y *L. maritima* con 4,41 veces (IC95%: 1,4, 13,73, $p < 0,05$) más visitas que *F. esculentum*. Por su parte, *Toxomerus* CR-3, se encontró principalmente asociado a *L. maritima* con un factor de 5,16 (IC95%: 1,30, 19,99, $p < ,005$) y a *C. sativum* con un factor de 3,26 (IC95%: 0,82, 12,73, $p < ,005$) (Fig. 2B), respecto a *F. esculentum* (1,33 visitas/10min (IC95%: 0,49, 3,65)).

En el 2023, las flores más visitadas por *Allograpta* spp. fueron las de *B. napus* con un factor de 7,16 (IC95%: 4,33, 9,98, $p < ,001$), *L. maritima* con un factor de 4,59 (IC95%: 1,69, 7,50, $p < ,005$) y *E. sativa* con factor de 4,47 (IC95%: 1,27, 7,68, $p < ,005$), respecto a la visitación promedio de *F. esculentum* (2,53 visitas/10min (IC95%: 0,53, 4,54)) (Fig. 2C). Mientras que *Toxomerus* CR-3 visitó principalmente *L. maritima* con 6,01 veces (IC95%: 2,35, 14,68, $p < ,001$) más visitas que el promedio de visitas en *F. esculentum* (0,84 visitas/10min (IC95%: 0,43, 1,27)) (Fig. 2D).

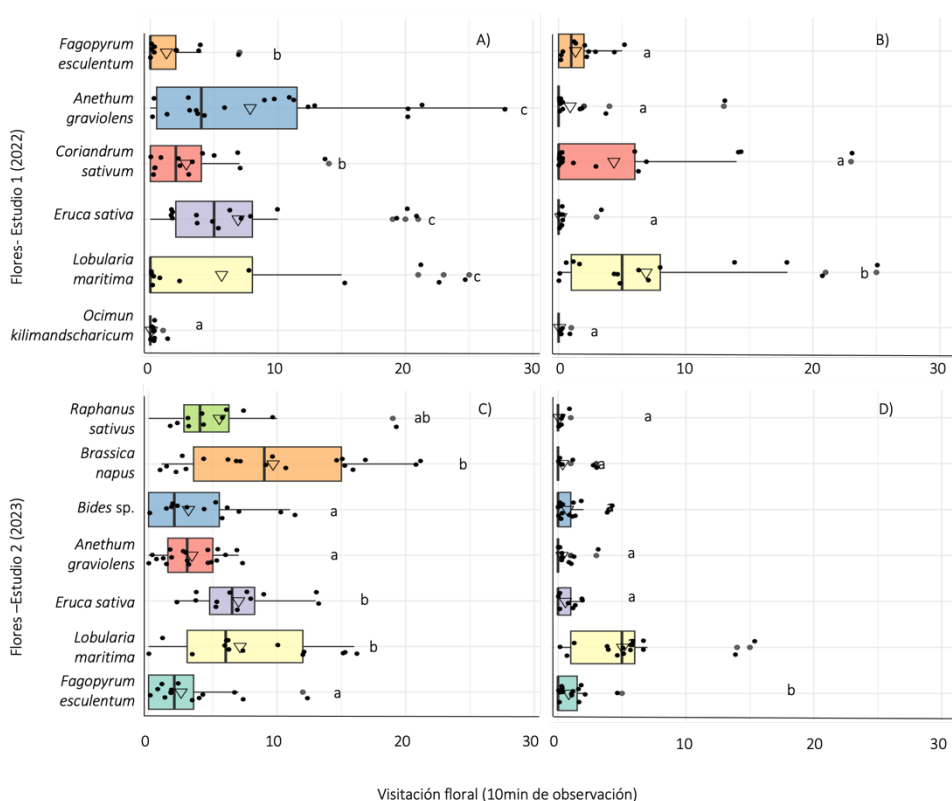


Figura 2. Visitación floral (durante 10 min de observación) de *Allograpta* spp. (A-C) y *Toxomerus* CR-3 (B-D) (Diptera: Syrphidae) asociado a los recursos florísticos en el 2022 y 2023. El triángulo representa la media aritmética. Letras diferentes representan una significancia estadística de $p < 0.05$.

Según la red ecológica planta-visitante floral del 2022 (Fig. 3A), las plantas con mayor grado de interacción fueron *C. sativum* y *A. graveolens* con cinco interacciones, seguidos por *L. maritima* con cuatro interacciones. Por otro lado, *Allograpta* spp. y *Toxomerus* CR-3 visitaron todas las plantas, seguidos por *T. watsoni* con cuatro interacciones, *T. mutuus* y *P. haemorrous* con tres. En el 2023, *L. maritima* contó con el mayor número de interacciones (ocho), seguidos por *F. esculentum* y *B. alba* con siete interacciones, por su parte, *Allograpta* spp., *Toxomerus* CR-3, *T. watsoni* y *T. mutuus* nuevamente visitaron todas las plantas, mientras que las otras especies sírfidos contaron con menos interacciones (Fig. 2B).

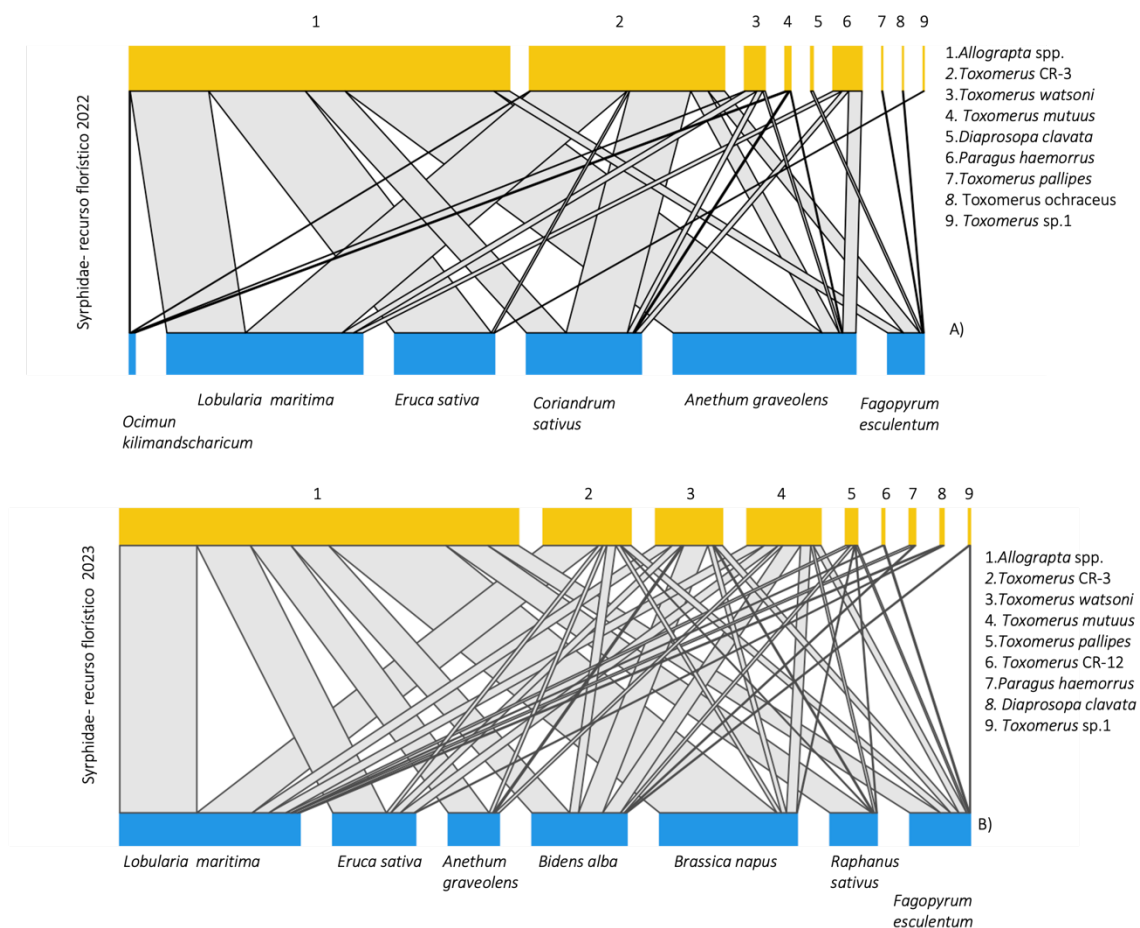


Figura 3. Interacciones entre las especies de sírfidos afidófagos (Diptera: Syrphidae) (amarillo) y los recursos florales (azul), estudio 1 (2022) (A) y estudio 2 (2023) (B), dentro de un agroecosistema de hortalizas orgánico, Cartago, Costa Rica. En el gráfico bipartito las interacciones entre los nodulos son representados por la central de color gris.

Coccinellidae

En el 2022 los coccinellidos se encontraron asociados principalmente a *A. graveolens* con una abundancia promedio 11,70 (IC95%: 5,26, 20,69, $p < ,001$) veces mayor que la obtenida en las flores de *C. sativum*, cuya abundancia promedio fue de 2 ind. (IC95%: 1,00, 4,00) (Fig. 4A). En el 2023 las plantas con mayor abundancia de coccinellidos fueron *B. alba* con un factor de 7,7 (IC95%: 2,20, 26,31, $p < ,001$), *B. napus* con un factor de 5,00 (IC95%: 1,43, 17,46, $p < ,005$) y *E. sativa* 4,26 (IC95%: 1,20, 15,02, $p < ,005$), respecto a la abundancia promedio de *F. esculentum* (0,67 ind. (IC95%: 0,23, 1,93)) (Fig. 4B).

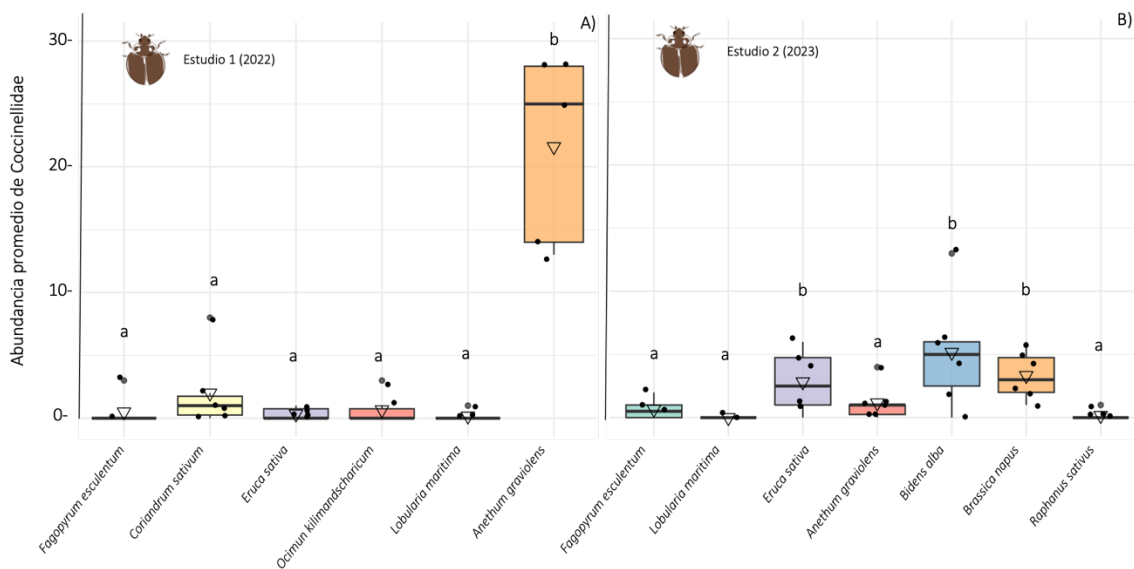


Figura 4. Abundancia promedio de coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) en bloques de recursos florísticos en el 2022 (A) y 2023 (B). El triángulo representa la media aritmética. Letras diferentes representan una significancia estadística de $p < 0,05$.

Según la red ecológica planta-coccinélidos del 2022 (Fig. 5A), la especie *C. emerginata* presentó una mayor interacción con la planta *A. graveolens*, aunque también mostró asociación con todos los recursos florísticos evaluados menos con *E. sativa*. Por otro lado, *H. axyridis* estuvo principalmente asociada a *A. graveolens* y en menor medida se registró en *C. sativum*, *E. sativa* y *O. kilimandscharicum*. En el 2023, *H. axyridis* visitó seis recursos florísticos aunque fue más abundante en *B. alba* y *E. sativa*. *Cycloneda emarginata* visitó principalmente a *B. napus* y a *B. alba* y *Coleomegilla maculata* se encontró principalmente en flores de *B. alba*, registrando ambas especies cuatro interacciones (Fig. 4B).

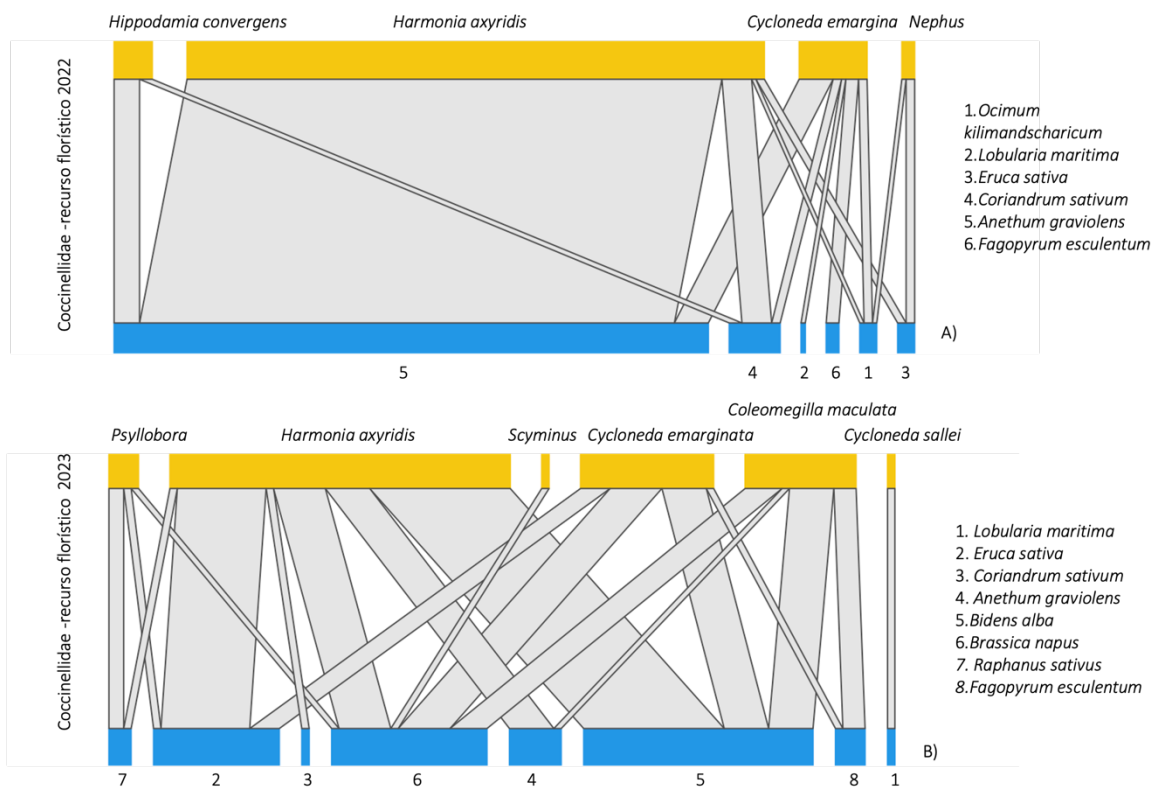


Figura 5. Interacciones entre las especies de Coccinellidae (arriba, barra amarilla) y los recursos florales (abajo, barra azul), en el 2022 (A) y 2023 (B). En el gráfico bipartito las interacciones entre los nódulos son representados por la sección media de color gris.

Braconidae: Aphidiinae

Se hallaron dos especies de avispas parasitoides asociadas a siete recursos florísticos. En el 2022, *Diaeretiella rapae* se encontró asociada a las flores de *E. sativa* con una abundancia promedio de 0,41 (DS: $\pm 1,44$), seguido por, *C. sativum* ($0,33 \pm 0,78$), *F. esculentum* ($0,33 \pm 0,65$), *O. kilimandskaricum* ($0,25 \pm 0,45$) y *L. maritima* ($0,08 \pm 0,29$). En el 2023, *Diaeretiella rapae* se encontró en las flores de *E. sativa* $0,16 \pm 0,38$ y *R. sativus* ($0,08 \pm 0,29$) y *Aphidius colemani* en *B. alba* ($0,08 \pm 0,29$).

Otros insectos benéficos

En el estudio del 2022, durante el muestreo de visitación floral, se registraron cuatro categorías de abejas; la abeja de miel *A. mellifera* visitó principalmente las flores de *O. kilimandskaricum* (44,06%) y *F. esculentum* (34,25%) (n=581), el abejorro *B. mexicanus*

estuvo asociado principalmente a las flores de *E. sativa* (87,71%) (n=281), las abejas sin aguijón de la tribu Meliponini (Apidae) visitaron similarmente *E. sativa* (21,01%), *C. sativum* (31,02%) y *F. esculentum* (25,43%) (n=1451) y otras abejas nativas presentaron una mayor visitación de las flores de *L. maritima* (35,47%) y *C. sativum* (30,23%) (n=172). Otros insectos benéficos como las avispas (Vespidae) estuvieron presentes principalmente en *A. graveolens* (35,26%) (n=156) y los sírfidos descomponedores de materia orgánica (Eristalinae) se observaron con más frecuencia en *F. esculentum* (60%) (n=40) (Fig. 6A).

Mientras que en el estudio del 2023, la visitación floral de *A. mellifera* se distribuyó en cuatro recursos florísticos, *F. esculentum* (33,03%), *R. sativus* (25,58%), *B. napus* (20,93%) y *B. alba* (15,19%) (n=645), las abejas sin aguijón visitaron de manera similar las flores de *R. sativus* (25,74%), *F. esculentum* (24,01%) y *B. napus* (20,56%) (n=1678), las otras abejas nativas visitaron principalmente las flores de *L. maritima* (25,59%), *B. napus* (20,85%) y *R. sativus* (17,71%) (n=254), las avispas (Vespidae) se encontraron visitando las flores de *A. graveolens* (25,94%) y *L. maritima* (20,94%) (n=253), los eristalinos visitaron con mayor frecuencia las flores de *L. maritima* (65,07%) y *B. alba* (26,98%) (n=63) (Fig. 6B).

Según los datos de abejas nativas obtenido por trampas amarillas, en el primer estudio 2022, *Lassioglossum* estuvo presente en todos los bloques de los recursos florísticos (Fig. 7A) y fue la abeja más abundante en cada uno de ellos (*A. graveolens* (94,12%) (n=17), *E. sativa* (84,31%) (n=34), *L. maritima* (86,67%) (n=31), *C. sativum* (77,4%) (n=37), *O. kilimandskaricum* (75,09%) (n=33) y *F. esculentum* (75%) (n=49) (Anexo 1). Entre las abejas sin aguijón (Meliponini), *P. orizabaensis* y *T. corvina*, estuvieron principalmente asociados a *C. sativum* (100% (n=1) y 57,14% (n=7), respectivamente). Por otro lado, *Protandrena*, *Sphecodes* y *Ceratina* se encontraron mayoritariamente asociados a los bloques de *F. esculentum*, con un 41,66% (n=12), 45,85% (n=7) y 50% (n=8) de abundancia relativa, respectivamente.

En el segundo estudio 2023, *Lassioglossum* fue la abeja más abundante en los bloques de *L. maritima* (62,07%) (n=29), *A. graveolens* (50%) (n=4), *E. sativa* (50%) (n=4), *B. alba* (33,03%) (n=12) y *R. sativus* (27,78%) (n=18) (Anexo 1). *P. orizabaensis* estuvo

principalmente en los bloques de *B. napus* (39,13%) (n=23), *G. lutzi* (66,67%) (n=3) en *R. sativus*, *S. subobscuripennis* en *R. sativus* (100%) (n=1) y *T. corvina* en *F. esculentum* (54,55%) (n=11). *Exomalopsis* se encontró en *B. alba* y *Protandrena* en *B. alba* y *L. maritima* (Fig. 7B).

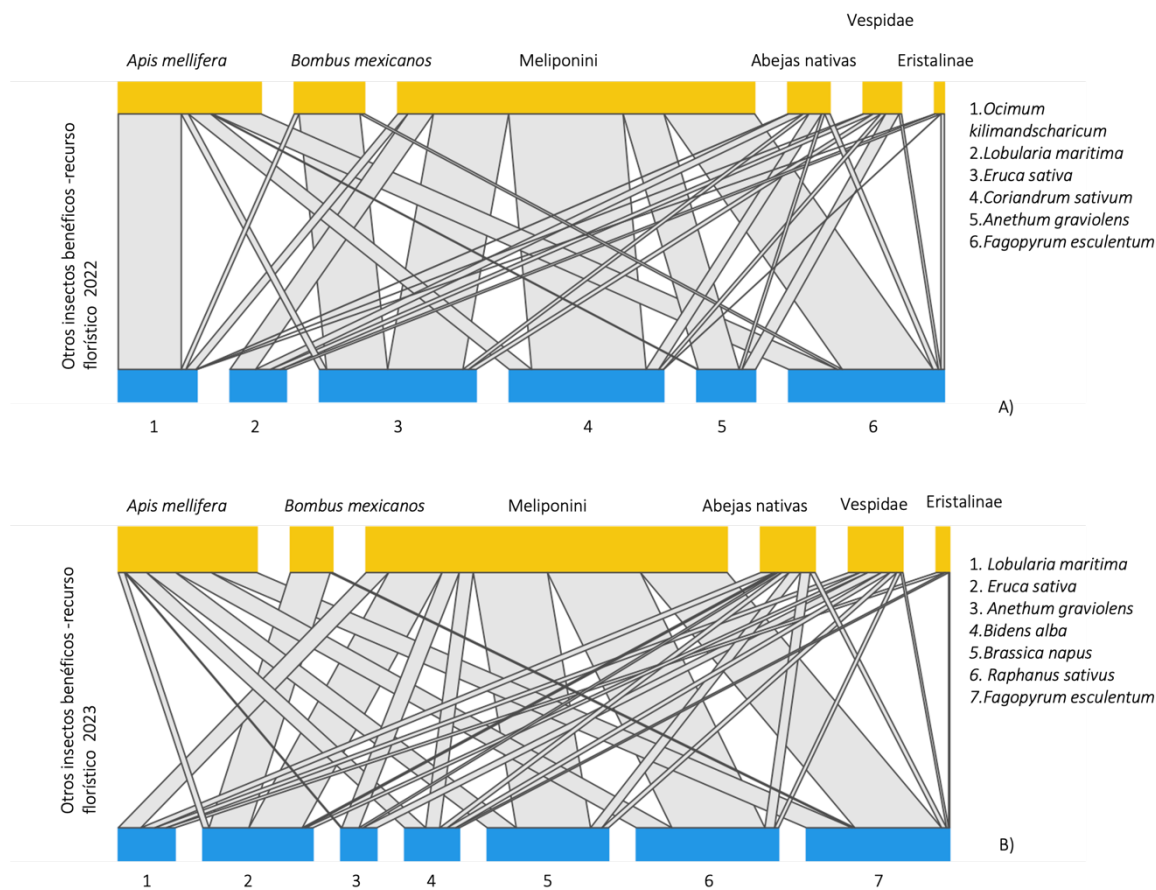


Figura 6. Interacciones de otros grupos de insectos benéficos (arriba, barra amarilla) y los recursos florales (abajo, barra azul), en el 2022 (A) y 2023 (B), mediante la medición de visitación floral durante 10min por bloque de recursos florístico. En el gráfico bipartito las interacciones entre los nódulos son representados por la sección media de color gris.

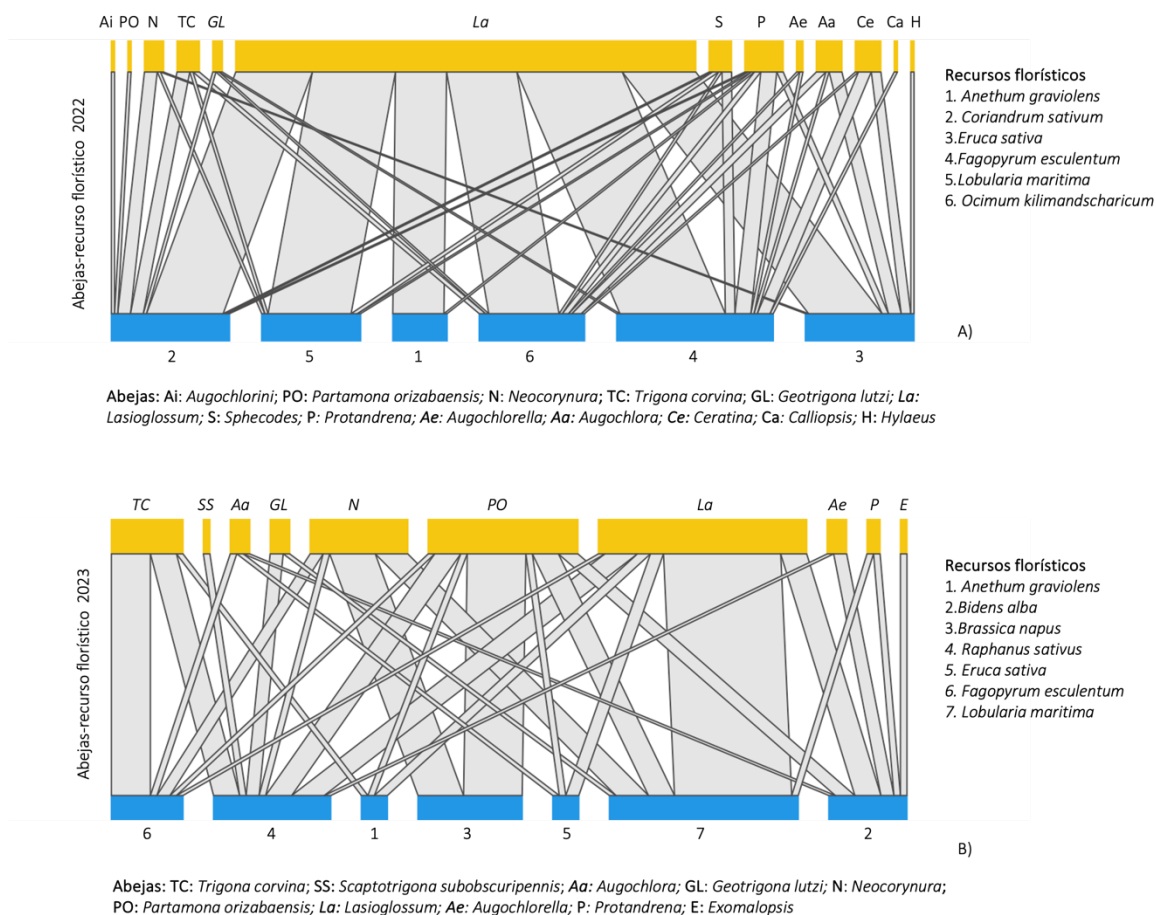


Figura 7. Interacciones de abejas nativas (arriba, barra amarilla) y los recursos florales (abajo, barra azul), en el 2022 (A) y 2023 (B), de trampas amarillas. En el gráfico bipartito las interacciones entre los nódulos son representados por la sección media de color gris.

Estado de las plantas

En el 2022, las plantas que presentaron mayor cobertura de suelo desnudo fueron *O. kilimandscharicum* (79,19% (IC95%: 75,90, 82,61)) y *L. maritima* (70,03% (IC95%: 67,20%, 73,53%)) (Cuadro 2). En el momento del muestreo todas las plantas se encontraban en la etapa de floración (Fig. 8 y 9), excepto *A. graveolens* que presentó una alta cobertura de semillas (46,93% (IC95%: 39,55%, 44,44%)) (Fig. 8A). La cobertura y densidad floral

varió entre especies de plantas; *O. kilimandscharicum* presentó la menor cobertura de flores con 2,56% (IC95%: 2,02%, 3,24%), seguida por *A. graveolens* con un 7,19% (IC95%: 6,24%, 8,27%), mientras que *C. sativum* y *F. esculentum* obtuvieron la mayor cobertura floral, con 21,41% (IC95%: 19,73%, 23,23%) y 15,26% (IC95%: 13,85%, 16,81%), respectivamente. Las plantas con mayor densidad floral fueron *A. graveolens* con un promedio de 284,74 flores/25cm² (IC95%: 278,45, 291,18), *C. sativus* con 247,15 flores/25cm² (IC95%: 241,29, 253,15) y *L. maritima* con 157,52 flores/25cm² (IC95%: 152,85, 162,32). *Ocimum kilimandscharicum* presentó la menor densidad floral promedio con 5,85 flores/25cm² (IC95%: 4,97, 6,80). Únicamente *C. sativum* presentó 6,89% (IC95%: 5,78, 8,21) de cobertura de follaje enfermo.

En el 2023, las plantas que presentaron problemas de establecimiento fueron *C. sativum* y *E. sativa*, con una mayor cobertura de suelo desnudo (12,5% (IC95%: 11,45, 13,67) y 27,10% (IC95%: 25,71%, 28,57%), respectivamente) y mayor cobertura foliar enferma (30,56% (IC95%: 28,88%, 32,35%) y 8,71% (IC95%: 7,93%, 9,55%), respectivamente) (Cuadro 3). En el momento del muestreo todos los bloques se encontraron en etapa de floración (Figs. 10 y 11), excepto *C. sativum* que se encontraba en etapa vegetativa y afectado por una enfermedad foliar que eliminó todos los bloques de esta especie. Las plantas con mayor cobertura y densidad floral fueron *A. graveolens* (40,60% (IC95%: 39,02%, 42,24%) y 2088,97 flores/25cm² (IC95%: 2077,43, 2100,56), respectivamente), *L. maritima* (46,12% (IC95%: 44,29%, 48,02%) y 1706,94 flores/25cm² (IC95%: 1695,64, 1718,32), respectivamente) y *B. napus* (26,87% (IC95%: 25,59%, 28,21%) y 239,15 flores/25cm² (IC95%: 235,27, 243,10), respectivamente).

Se reportó la presencia de áfidos en algunos recursos florísticos. En el 2022 se registró un áfido color verde esmeralda no identificado durante todos los muestreos en las plantas de *A. graveolens* y en el 2023 se registró la presencia de *Brevicoryne brassicae* L. durante los últimos dos muestreos en *B. napus* y *R. sativus*.

Cuadro 2. Estado de los recursos florísticos evaluados para atraer sírfidos afidófagos y otros enemigos naturales de áfidos durante los muestreos, 2022 y 2023, en términos de porcentaje de cobertura (%) y densidad floral (flores/25cm²) y la presencia/ausencia de áfidos.

Planta	Cobertura (%) (Promedio ± Error estándar)					Densidad
	Suelo	Vegetal	Flores	Semillas	Enfermo	Flores/25cm ²
Estudio 1 (2022)						
<i>Ocimum kilimandscharicum</i>	79,19± 1,71a	18,33±0,82a	2,56 ± 0,31a	0	0	5,81 ±1,59a
<i>Lobularia maritima</i>	70,3 ± 1,61a	20,04±0,86a	9,96±0,61a	0	0	157,52 ±41,17b
<i>Eruca sativa</i>	39,52 ±1,21b	53,33±1,41b	7,22±0,52a	0	0	24,14 ±6,37c
<i>Coriandrum sativum</i>	29,85±1,05b	43,04±1,26b	21,41±0,86b	0,96±0,16a	6,89±0,62	247,15 ±64,55b
<i>Anethum graveolens</i>	27,26±1,00c	23,11±0,93a	7,19±0,52a	46,93±1,25b	0	284,74 ±74,34b *
<i>Fagopyrum esculentum</i>	30,89±1,07b	50,74±1,37b	15,26±0,75b	0,30±0,10b	0	105,93±27,71c
Estudio 2 (2023)						
<i>Lobularia maritima</i>	11,37 ± 0,47a	37,59 ± 0,86a	46,12± 0,95a	2,43 ± 0,22a	-	1706,94± 5,79a
<i>Eruca sativa</i>	27,10 ± 0,73b	56,33 ± 1,05b	6,69 ± 0,36e	0,08± 0,04b	8,71± 0,41a	33,16± 0,81d
<i>Coriandrum sativum</i>	12,51 ± 0,38a	56,92 ± 1,21b	-	-	30,56± 0,89b	-
<i>Anethum graveolens</i>	8,67 ± 0,38 c	44,90 ± 0,87d	40,60 ± 0,82b	4,80± 0,28d	-	2088,97± 5,90b
<i>Fagopyrum esculentum</i>	2,90 ± 0,22f	81,97 ± 1,17c	15,07 ± 0,50d	0,33± 0,07c	-	59,23± 0,99e
<i>Brassica napus</i>	9,03 ± 0,39 c	39,57 ± 0,81a	26,87 ± 0,67c	24,60± 0,64f	-	239,15± 2,00c *
<i>Raphanus sativus</i>	0,41 ± 0,09e	78,80 ± 1,21c	15,76 ± 0,54d	5,04± 0,31d	-	75,91± 1,19f *
<i>Bidens alba</i>	0,70 ± 0,11e	85,93 ± 1,20f	7,77± 0,36e	5,80± 0,31d	-	64,05± 1,03g

Letras diferentes representan una significancia estadística de $p < 0,05$.

(*) Presencia de áfidos

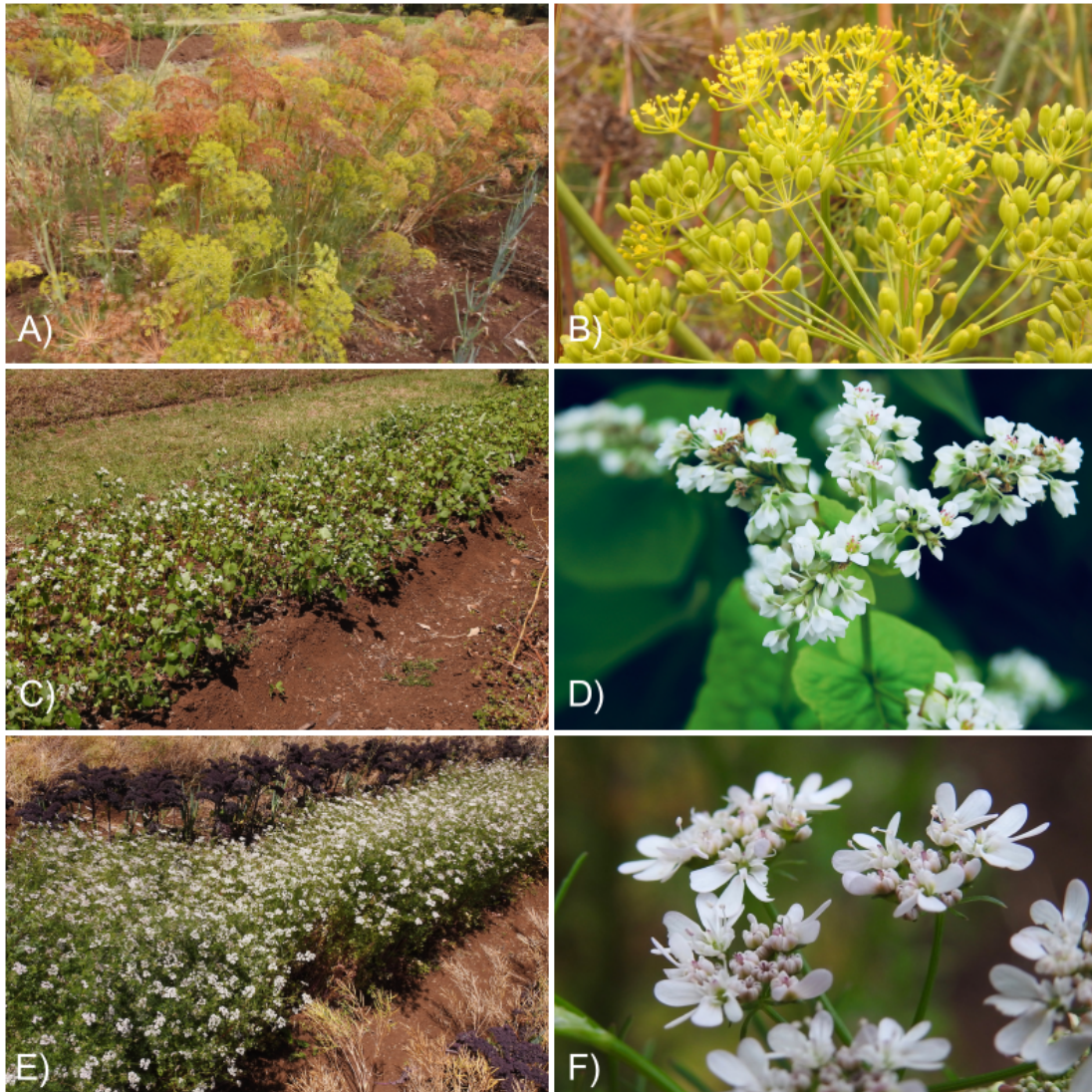


Figura 8. Bloques de recursos florísticos del estudio 1 (Parte I-II), marzo-abril 2022: A-B) eneldo, *Anethum graveolens* (Apiaceae); C-D) trigo sarraceno, *Fagopyrum esculentum* (Polygonaceae); E-F) culantro de castilla, *Coriandrum sativum* (Apiaceae).



Figura 9. Bloques de recursos florísticos del ensayo 1 (Parte II-II), marzo-abril 2022: A-B) albahaca alcanforada, *Ocimum kilimandscharicum* (Lamiaceae); C-D) alyssum, *Lobularia maritima* (Brassicaceae); E-F) arúgula, *Eruca sativa* (Brassicaceae).



Figura 10. Bloques de recursos florísticos del estudio 2 (Parte I-II), marzo-abril 2023: A-B) moriseco, *Bidens alba* (Asteraceae); C-D) mostaza criolla, *Brassica napus* (Brassicaceae); E-F) trigo sarraceno, *Fagopyrum esculentum* (Polygonaceae); G-H) nabo blanco, *Raphanus sativus* (Brassicaceae).



Figura 11. Bloques de recursos florísticos del estudio 2 (Parte II-II), marzo-abril 2023 A-B) eneldo, *Anethum graveolens* (Apiaceae); C-D) arúgula, *Eruca sativa* (Brassicaceae); E-F) alyssum, *Lobularia maritima* (Brassicaceae).

Fenología de los recursos florales

Cada recurso florístico presentó diferencias en el inicio y duración de sus etapas fenológicas germinación, vegetativa, floración, floración-fructificación y semilla (Fig. 12). (Anexo 3-7, etapas fenológicas principales de los recursos florísticos anuales). Las plantas que proveyeron flores por un periodo más largo fueron *O. kilimanscharicum* (más de 4 meses), *A. graveolens* (3,9 meses) y *L. maritima* (4,1 meses), seguidos por *F. esculentum* y *B. alba*

(2 meses), *E. sativa* y *B. napus* (1,7 meses) y *R. sativus* (1,5 meses). En todas las plantas evaluadas durante el segundo estudio, la mayor densidad de flores se registró en la etapa floración-fructificación y no en la de floración (Fig. 12).

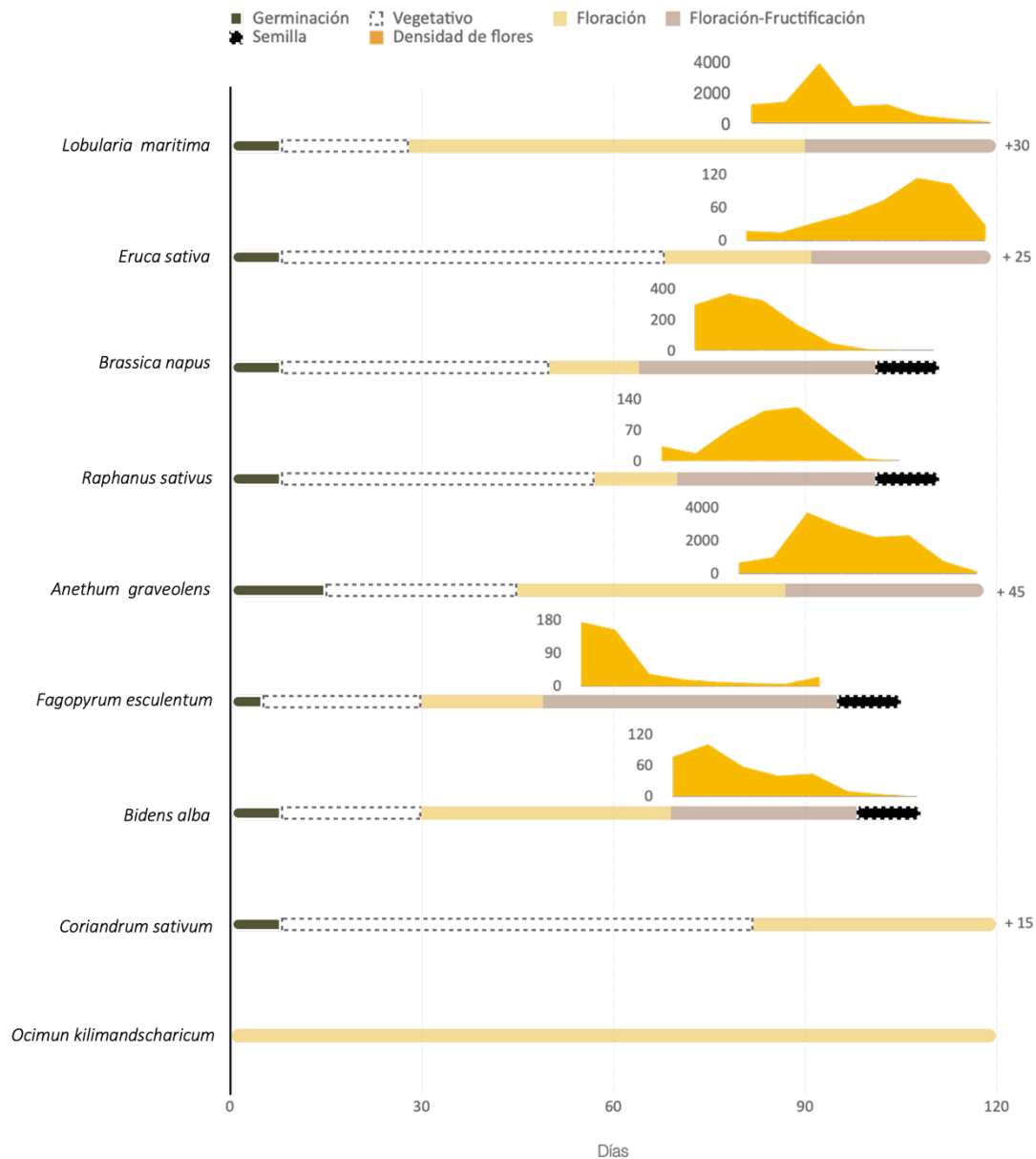


Figura 12. Duración de las etapas fenológicas de las nueve especies de plantas evaluadas en los ensayos de atracción de enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae) y la densidad floral (flores/25cm²) registrada durante el estudio 2 (2023).

Efecto del estado de las plantas

La cobertura floral (%) y la densidad floral (flores/25cm²) no explicaron la variabilidad específica de las visitas de sírfidos afidófagos ni la abundancia de coccinélidos, sin embargo, se encontraron diferencias respecto a la etapa fenológica del recurso florístico. Los sírfidos afidófagos visitaron más las plantas en etapa de floración que inicio de floración y floración-fructificación ($P < ,001$) (Fig. 13 A y B). En el 2022 1, la visitación floral al inicio de la floración y floración-fructificación fue 77,3% (IC95%: 67,8%, 84,6%) y 33% (IC95%: 22,1%, 42,7%) menor que el promedio de visitación floral en la etapa de floración con 4,88 visitas/10min (IC95%: 4,36, 5,48) y en el 2023, la visitación floral al inicio de la floración y floración-fructificación fue 52% (IC95%: 42,3%, 61,4%) y 27,4% (IC95%: 16,6%, 36,7%) menor que el promedio de visitación floral en la etapa de floración con 10.71 visitas/10min (IC95%: 9,88, 11,61). Los coccinélidos fueron más abundantes en las plantas en etapa floración-fructificación durante el ensayo 1, con un promedio de 10,27 (IC95%: 4,61, 22,86) (Fig. 13 C), mientras que el ensayo 2, fueron más abundantes en las plantas en etapa de floración con un promedio de 2,6 (IC95%: 1,48, 4,57) y en etapa de floración-fructificación con un promedio de 1,73 (IC95%: 0,87, 3,45), la abundancia de coccinélidos en la etapa de inicio de floración fue de 89,0% (IC95%: 45,7%, 98,5%) menor que la abundancia en la etapa de floración (Fig. 13 D).

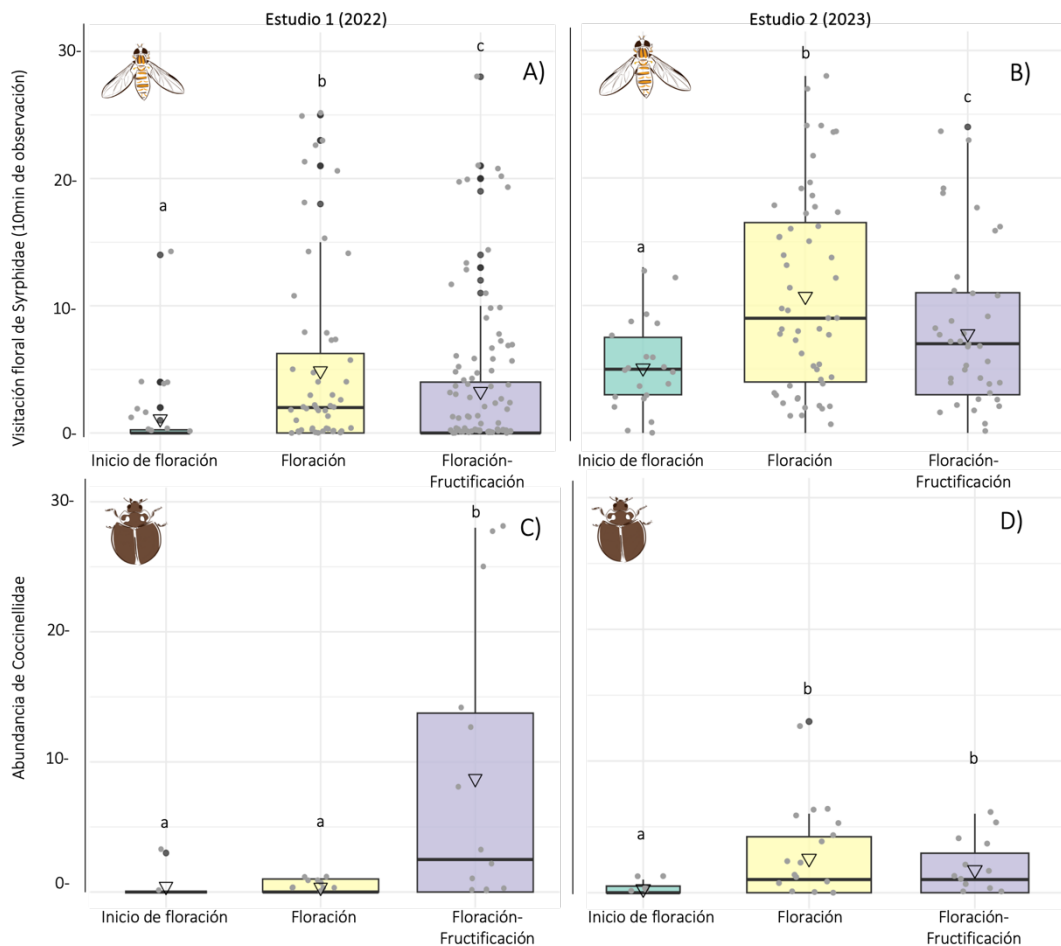


Figura 13. Visitación floral de sírfidos afidófagos (Diptera: Syrphidae: Syrphinae) (A y B) y abundancia de coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) (C y D) en diferentes etapas fenológicas de las plantas evaluadas en el 2022 y 2023. El triángulo marca la media aritmética. Letras diferentes representan diferencias con valor de $P < ,001$.

Efecto de la presencia de áfidos

La presencia de áfidos en los recursos florísticos aumentó la visitación de sírfidos y la abundancia de coccinélidos. En el 2022, la presencia de áfidos tuvo un efecto positivo en la visitación floral de *Allograpta* spp. con un factor de 2,05 (IC95%: 1,68, 2,48, $P < ,001$) y en la abundancia de coccinélidos con un factor de 21,12 (IC95%: 6,88, 79,04, $P < ,001$), en *Toxomerus* CR-3 no se encontró un efecto. En el 2023 no se registró este efecto debido a que los áfidos estuvieron presentes solo al final del muestreo.

DISCUSIÓN

En este estudio se identificaron 10 especies de sírfidos afidófagos, ocho especies de coccinélidos y dos especies de avispas parasitoides de áfidos asociados a los recursos florísticos evaluados. Las especies de *Allograpta* y *Toxomerus* CR-3 visitaron todos los recursos florales disponibles en cada ensayo, aunque mostraron preferencias claras por alguno de ellos. Estas diferencias en el uso de los recursos por parte de los sírfidos afidófagos se observaron a pesar de que todas las plantas evaluadas presentaban características favorables para la visita de los sírfidos, como el color, el fácil acceso al néctar y el polen, la poca profundidad de corola e inflorescencia en forma de umbela o corimbo que facilita el aterrizaje y la alimentación (Branquart & Hemptinne, 2000; Vattala et al., 2006; Van Rijn & Wäckers, 2016). La excepción a este patrón fue *O. kilimandscharicum*, cuyas flores son semitubulares fueron poco visitadas por los sírfidos. Campbell et al. (2012) encontraron que, aunque los sírfidos visitan flores tanto de corola corta como larga, prefieren aquellas de corola corta. Esto se debe a que muchos sírfidos afidófagos se alimentan de flores con menos de 3 mm de profundidad, ya que están limitados por la longitud de sus partes bucales (Gilbert, 1981).

El uso de los recursos florales varió entre las especies de sírfidos. Las especies del género *Allograpta* mostraron una mayor abundancia en las flores de *A. graveolens*, *B. napus* y *E. sativa*, mientras que los adultos de *Toxomerus* CR-3 visitaron con mayor frecuencia las flores de *C. sativum*. Por otro lado, *L. maritima* fue visitada por ambos sírfidos afidófagos. Azofeifa (2006) observó que las especies de sírfidos que controlan los áfidos plaga de la lechuga (*Lactuca sativa*) varían entre fincas, predominando en algunas las especies del género *Allograpta* y en otras las del género *Toxomerus*. Por consiguiente, el diseño de plantas acompañantes debe tener en cuenta las preferencias de los sírfidos afidófagos con mayor potencial para el control de plagas en el cultivo, con el fin de optimizar la práctica de CBC.

Ambrosino et al. (2006) reportaron que las flores de *C. sativum* fueron más visitadas que las de *L. maritima* por parte de los sírfidos depredadores. Sin embargo, en este estudio se observó lo contrario: las flores de *L. maritima* fueron más visitadas que las de *C. sativum*, tanto por

Allograpta spp. como por *T. CR-3*. *Lobularia maritima* ha sido utilizada para el CBC de áfidos (Hogg et al., 2011) y mejorar la dispersión de sírfidos afidófagos en el campo (Gillespie et al., 2011). En contraste, no se encuentran registros previos sobre *A. graveolens*, *E. sativa* y *B. napus* como recursos para sírfidos afidófagos. Además, aunque *F. esculentum* fue identificado previamente por Colley y Luna (2000) y Ambrosino et al. (2006) como una planta atractiva para sírfidos afidófagos, en este estudio no resultó ser un recurso preferido por las especies de sírfidos afidófagos presentes, aunque sí para otras especies de sírfidos de la subfamilia Eristalinae.

Este resultado enfatiza la necesidad de validar los recursos florísticos en contextos específicos, ya que, aunque algunas plantas hayan sido efectivas en climas templados, es importante verificar su utilidad, considerando posibles variaciones en las poblaciones de enemigos naturales y sus preferencias alimenticias, incluso a nivel regional dentro de un mismo país. Adicionalmente, otros estudios han demostrado un efecto positivo de *F. esculentum* sobre el aumento de las tasas de parasitismo y la longevidad de las avispas parasitoides de áfidos (Tylianakis et al., 2004; Araj & Wratten, 2014). Sin embargo, debido a la escasa población de estas avispas parasitoides registrada en este estudio, no fue posible determinar sus preferencias de recursos florales

Colley & Luna (2000) determinaron que la selección de los sírfidos depende de los recursos florales disponibles. En esta investigación se realizaron cambios en los recursos florísticos entre los dos estudios, en el 2023 se eliminó *O. kilimandscharicum* por su baja visitación floral, pero se mantuvieron las plantas con mayor potencial para reevaluarse con especies adicionales, lo que enriqueció el proceso de selección. Esta variación no tuvo impacto en *Toxomerus CR-3* que se concentró principalmente en *L. maritima* en ambos estudios, seguido por *C. sativum*, aunque este recurso no fue evaluado en el 2023 debido a problemas con su establecimiento. Por otro lado, *Allograpta* spp. mostraron un cambio en la preferencia de los recursos entre estudios, *A. graveolens* fue reemplazado por *B. napus* en el 2023, pero *E. sativa* y *L. maritima* se mantuvieron entre las más visitadas por estas especies en ambos estudios. Se registró la presencia de áfidos en *A. graveoles* en el 2022, factor que pudo contribuir en su mayor visitación respecto a las plantas sin áfidos. El forrajeo de los sírfidos

afidófagos responde a la búsqueda de recursos alimenticios (polen y néctar) y sitios de oviposición (Almohamad et al., 2009), por lo que la combinación de estos recursos pudieron contribuir a la mayor visitación floral de *A. graveolens* en el primer estudio.

Los coccinélidos también mostraron una asociación con ciertos recursos florísticos, y en este caso, la presencia de áfidos tuvo una influencia significativa en su abundancia, con un factor de 21,12 (IC95%: 6,88, 79,04, $P < ,001$). Según Fonseca et al. (2017) la presencia de áfidos afecta de manera diferencial a las especies de coccinélidos, dado que *Cycloneda sanguinea* fue más abundante en los recursos florísticos con áfidos, mientras que *H. axyridis*, *Scymnus* y otras especies no fueron afectada por la presencia de este recurso en ese estudio. Las plantas con mayor abundancia de coccinélidos fueron *A. graveolens*, *B. alba*, *B. napus* y *E. sativa*. El efecto positivo de *A. graveolens* y especies de *Bidens* sobre la abundancia de coccinélidos ya había sido reportado previamente (Amaral et al., 2013; Tschumi et al., 2016), pero no se había documentado en *B. napus* ni en *E. sativa*. Sin embargo, Bertolaccini et al. (2008) determinaron que el consumo de polen de *Brassica* favorece la reproducción de *Hippodamia variegata* cuando la disponibilidad de presas es escasa. Los coccinélidos, al igual que los sírfidos adultos, se benefician de la presencia de recursos florales diversos y abundantes, lo que mejora su fecundidad y por consiguiente su potencial para el control de plagas (Hyder et al., 2023).

La floración escalonada dificulta la identificación de diferencias significativas en el uso de los recursos florísticos (Colley & Luna, 2000). Por esta razón, se intentó sincronizar la floración en el 2022 mediante una siembra escalonada. Sin embargo, *O. kilimandscharicum*, *A. graveolens* y *L. maritima* presentaron desfases en el periodo de floración. En el caso de *Ocimum kilimandscharicum* y *L. maritima* se debió a que se sembraron tardíamente, por lo tanto en el momento del muestreo su desarrollo vegetativo estaba desfasado con el resto de especies. Además, el desarrollo de *O. kilimandscharicum*, como planta arbustiva perenne, fue más lento que las otras especies de plantas herbáceas anuales lo que resultó en una cobertura floral de apenas 2,56%. Por otro lado, *A. graveolens* se sembró muy temprano, lo que hizo que, en el momento del muestreo ya estuviera produciendo semillas, aunque aún presentaba flores. No obstante, los desfases en *A. graveolens* y *L. maritima* pudieron

compensarse por su alta densidad floral, de 284,74 flores/25cm² y 157,52 flores/25cm², respectivamente. Con base en la experiencia del primer estudio sobre la duración de las etapas fenológicas de los recursos florísticos, en el segundo estudio se optó por sembrar todas las plantas simultáneamente, lo que permitió una superposición en el periodo de floración. Así, los recursos fueron evaluados durante las etapas de inicio de floración, pico de floración y floración-fructificación .

Se encontraron diferencias en la densidad de flores proporcionada por cada especie de planta evaluada. Sin embargo, esta variable no tuvo un impacto significativo en la atracción de sírfidos afidófagos y coccinélidos. Los sírfidos afidófagos seleccionaron plantas con alta densidad floral como, *Anethum graveolens* (2088,97±5,90b flores/25cm²), *L. maritima* (1706,94± 5,79 flores/25cm²), *C. sativum* (247,15±64,55 flores/25cm²) y *B. napus* (239,15± 2,00 flores/25cm²), así como plantas con baja densidad floral como *E. sativa* (33,16± 0,81 flores/25cm²). Según, Meyer et al. 2009 y Rodríguez-Gasol et al. (2020) los sírfidos son atraídos por áreas con una mayor abundancia y riqueza de recursos florales. Por lo tanto, es posible que, para los sírfidos no sea tan relevante la densidad floral de cada planta individual, sino la disponibilidad abundante de recursos florísticos clave en un área determinada. En este estudio cada especie de planta fue sembrada en bloques de 5m² lo que pudo en conjunto, constituir un gran parche de flores que atrajo los sírfidos y luego las visitas en cada parche de flor reflejó las preferencias por cada recurso.

Los sírfidos afidófagos y coccinélidos fueron claramente más abundantes durante las etapas fenológicas de floración y floración-fructificación. En el 2022, los coccinélidos estuvieron principalmente asociados a la etapa de floración-fructificación probablemente debido a la presencia de áfidos en *A. graveolens*. Sin embargo, en el 2023 los áfidos estuvieron prácticamente ausentes y se observó una mayor abundancia de coccinélidos en la etapa de floración. Lo que sugiere que los coccinélidos a pesar de ser depredadores voraces pueden beneficiarse de los recursos florísticos. Conocer la fenología de los recursos florísticos es por tanto clave para asegurar la presencia de enemigos naturales en los momentos en que los cultivos más lo necesitan (Colley & Luna, 2000). En este estudio, se determinó el periodo de floración de todas las plantas evaluadas, que varió entre 2 a 4 meses para las especies

seleccionadas. A partir de los datos fenológicos, se puede inferir que al utilizar una combinación de plantas, sería posible lograr floraciones superpuestas, lo que aumentaría la diversidad de recursos y extendería el periodo de floración en comparación con el uso de una sola especie. Manipular los momentos de siembra, basado en la fenología de las especies vegetales, también permite proveer néctar y polen durante períodos más largos, alineados con las necesidades del cultivo y la fenología de la especie plaga.

Las redes ecológicas mostraron que el conjunto de plantas aportan interacciones con una mayor diversidad de enemigos naturales en comparación con las relaciones de una sola especie de planta. En la práctica estas franjas pueden estar compuestas por una sola especie (Gillespie et al., 2011), mezclas simples con dos especies (Pineda & Marcos-García, 2008), o mezclas complejas con 10 o más especies (Pontin et al., 2006; Tshumi et al., 2016; Hatt et al., 2017). Según la teoría ecológica, las franjas de flores diversas son más beneficiosas para los enemigos naturales (Collet & Luna, 2000; Hatt et al., 2017). Existen factores tanto a favor y en contra de utilizar franjas de flores multiespecie. Los diseños diversificados ofrecen ventajas para los agroecosistemas (Letourneau et al., 2011), ya que mejoran la sincronización de los ciclos de vida de depredadores y presas, y proporcionan recursos más estables a lo largo del tiempo (Burgio et al., 2006).

Los recursos florísticos evaluados en este estudio también fueron aprovechados por otros grupos de insectos benéficos, como sírfidos cristalinos, véspidos y abejas. Los sírfidos cristalinos visitaron con mayor frecuencia las flores de *F. esculentum*, *L. maritima* y *B. alba*. Dentro de la familia Syrphidae, se destacan diversos roles ecológicos: las larvas de la subfamilia Syrphinae actúan como depredadoras de insectos de cuerpo blando, como áfidos, mosca blanca (Hemiptera: Aleyrodidae), salivazos (Cercopidae) y membrácidos (Membracidae) (Rodríguez-Gasol et al., 2020), mientras que las larvas de la subfamilia Eristalinae se desarrollan en diversas fuentes de materia orgánica en descomposición (Ricarte et al., 2009). Además, Doyle et al. (2020) resaltan su relevancia y potencial uso como polinizadores en ambientes naturales y agrícolas. Gracias a estas funciones, la familia Syrphidae es reconocida por proporcionar servicios ecosistémicos clave, como la regulación de plagas, el reciclaje de nutrientes y la polinización. Por otro lado, los véspidos son

depredadores frecuentes en ambientes agrícolas y pueden ejercer un control significativo sobre plagas de lepidópteros en cultivos de brasicáceas (Jandt, McCall & Toth, 2024). En este estudio, los véspidos visitaron varios recursos florísticos, especialmente *A. graveolens*, lo que coincide con los hallazgos de Hermes y Köhler (2006), quienes identificaron a la familia Apiaceae como un recurso importante para este grupo de insectos.

Entre las abejas, la abeja miel *A. mellifera* es una especie exótica que ha recibido mucha atención debido a su importancia económica como polinizador de una gran variedad de cultivos (Klein et al., 2007; Rader et al., 2009) y como visitante floral común en hábitats naturales alrededor del mundo (Hung et al., 2018). En este estudio, *A. mellifera* se encontró visitando principalmente las flores de *O. kilimandskaricum*, *F. esculentum*, *R. sativus*, *B. napus* y *B. alba*. Ambrosino et al., también consideró la atracción de otros insectos benéficos e identificó las flores de *C. sativum* y *F. esculentum* entre las más atractivas para esta especie. Otras abejas atraídas a los recursos florísticos fueron el abejorro *B. mexicanus* (Apidae: Bombini) que visitó principalmente las flores de *E. sativa* y varias especies de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) que fueron más abundantes en las flores de *E. sativa*, *C. sativum*, *F. esculentum*, *R. sativus* y *B. napus*. Los *Bombus* desempeñan un papel crucial como polinizadores en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* L., Solanaceae) (Hein, 2009; Salvarrey et al., 2020; Toni et al., 2021). Este cultivo se beneficia significativamente de la polinización por insectos, tanto en términos de productividad como de calidad del fruto (Marcias-Marcias et al., 2009). La dependencia del tomate respecto a este servicio de polinización oscila entre el 10% y el 50%, según la variedad y el manejo del cultivo (Hein, 2009). Por otro lado, algunas especies de abejas sin aguijón son importantes polinizadores de cultivos como el chayote (*Sechium edule* Jacq.) (Wille, Orozco & Raabe, 1983; Heard, 1999) y son parte importante de complejo de polinizadores en el cultivo de café (*Coffea arabica* L., Rubiaceae) (Ricketts, 2004; Aristizábal et al., 2025). Además, estudios realizados por Ambrosino et al. (2006) y Pontin et al. (2006) han demostrado que los recursos florísticos destinados a favorecer a los enemigos naturales también resultan atractivos para los polinizadores. De esta manera, el valor de estos recursos no se limita únicamente a la creación de hábitats para el control biológico, sino que también proporcionan alimento y zonas de refugio para las abejas locales y otros insectos benéficos.

CONCLUSIONES

Este estudio resalta la importancia de seleccionar recursos florísticos en función de su capacidad para atraer enemigos naturales. Se observó que las especies de sírfidos afidófagos y coccinélidos emplean los recursos florales de forma selectiva. Así, las plantas acompañantes en los cultivos pueden elegirse de manera específica para favorecer la presencia de especies de enemigos naturales vinculadas a las plagas de cada cultivo. Estos hallazgos avanzan en el entendimiento de las relaciones ecológicas fundamentales para diseñar estrategias eficaces de control biológico y subrayan la necesidad de validar, caso por caso, los recursos florales en cuanto a su uso por los enemigos naturales locales.

Adicionalmente, los recursos florísticos dirigidos a enemigos naturales son atractivos para varias especies de polinizadores claves en la región, lo que podría maximizar el valor de los recursos florísticos por su potencial para mejorar el control de plagas, la polinización y la conservación de la biodiversidad. También, se subraya que con base en la fenología de los recursos florísticos se pueden ajustar los momentos de siembra de tal manera que exista una oferta continua de néctar y polen para los enemigos naturales, alineada con las necesidades del cultivo.

Determinar la mezcla de plantas adecuada para cada cultivo, identificar las especies que mejor coexisten en una combinación, establecer el momento óptimo para su siembra según el ciclo del cultivo y evaluar su costo/beneficio, son algunos de los siguientes pasos para el desarrollo de franjas de flores como una práctica de CBC. Además, se requiere evaluar si las plantas seleccionadas pueden ser hospederas de plagas potenciales para el cultivo, con el fin de evitar la atracción de nuevas especies plaga y problemas fitosanitarios. Dado que los recursos florales tienen la capacidad de atraer insectos polinizadores, es recomendable evaluar también su impacto en aspectos clave como el incremento de las poblaciones de polinizadores, la mejora de la polinización, y los efectos en la productividad y calidad de los cultivos que dependen de la polinización biótica.

REFERENCIAS

Almohamad, R., Verheggen, F., & Haubruge, É. (2009). Searching and oviposition behavior of aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae): a review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 13(3).

Amaral, D. S. S. L., Venzon, M., Duarte, M. V. A., Sousa, F. F., Pallini, A., & Harwood, J. D. (2013). Non-crop vegetation associated with chili pepper agroecosystems promote the abundance and survival of aphid predators. *Biological Control*, 64(3), 338-346. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.12.006>

Ambrosino, M. D., Luna, J. M., Jepson, P. C., & Wratten, S. D. (2006). Relative frequencies of visits to selected insectary plants by predatory hoverflies (Diptera: Syrphidae), other beneficial insects, and herbivores. *Environmental Entomology*, 35(2), 394-400. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.2.394>

Amorós-Jiménez, R., Pineda, A., Fereres, A., & Marcos-García, M. Á. (2014). Feeding preferences of the aphidophagous hoverfly *Sphaerophoria rueppellii* affect the performance of its offspring. *BioControl*, 59(4), 427-435. <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9577-8>

Araj, S.E., & Wratten, S. D. (2014). Comparing existing weeds and commonly used insectary plants as floral resources for a parasitoid. *Biological Control*, 81, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.11.003>

Azofeifa Jiménez, D. (2016). Sírfidos (Diptera: Syrphidae) depredadores de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en lechuga *Lactuca sativa* L.(Asteraceae) orgánica en Costa Rica: estrategias de control biológico por conservación. Tesis. Universidad Nacional de Costa Rica.

Azzouz, H., Giordanengo, P., Wäckers, F. L., & Kaiser, L. (2004). Effects of feeding frequency and sugar concentration on behavior and longevity of the adult aphid parasitoid:

Aphidius ervi (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Control*, 31(3), 445-452. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.07.013>

Berndt, L. A., & Wratten, S. D. (2005). Effects of alyssum flowers on the longevity, fecundity, and sex ratio of the leafroller parasitoid *Dolichogenidea tasmanica*. *Biological Control*, 32(1), 65-69. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.07.014>

Bertolaccini, I., Núñez-Pérez, E., & Tizado, E. J. (2008). Effect of Wild Flowers on Oviposition of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) in the Laboratory. *Journal of Economic Entomology*, 101(6), 1792-1797. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-101.6.1792>

Branquart, E., & Hemptinne, J. (2000). Selectivity in the exploitation of floral resources by hoverflies (Diptera: Syrphinae). *Ecography*, 23(6), 732-742. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2000.tb00316.x>

Brennan, E. B. (2013). Agronomic aspects of strip intercropping lettuce with alyssum for biological control of aphids. *Biological Control*, 65(3), 302-311. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.03.017>

Burgio, G., Ferrari, R., Boriani, L., Pozzati, M., & Van Lenteren, J. (2006). The role of ecological infrastructures on Coccinellidae (Coleoptera) and other predators in weedy field margins within northern Italy agroecosystems. *Bulletin of Insectology*, 59(1), 59.

Colley, M. R., & Luna, J. M. (2000). Relative attractiveness of potential beneficial insectary plants to aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Environmental Entomology*, 29(5), 1054-1059. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-29.5.1054>

Doyle, T., Hawkes, W. L., Massy, R., Powney, G. D., Menz, M. H., & Wotton, K. R. (2020). Pollination by hoverflies in the Anthropocene. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1927), 20200508.

Fitzgerald, J. D., & Solomon, M. G. (2004). Can flowering plants enhance numbers of beneficial arthropods in UK apple and pear orchards?. *Biocontrol Science and Technology*, *14*(3), 291–300. <https://doi.org/10.1080/09583150410001665178>

Florez, J. A., Muschler, R., Harvey, C. A., Finegan, B., & Roubik, D. W. (2002). Biodiversidad funcional en cafetales: el rol de la diversidad vegetal en la conservación de abejas. *Agroforestería en las Américas V. 9*, n. 35-36 p. 29-36.

Fonseca, M. M., Lima, E., Lemos, F., Venzon, M., & Janssen, A. (2017). Non-crop plant to attract and conserve an aphid predator (Coleoptera: Coccinellidae) in tomato. *Biological Control*, *115*, 129-134. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.10.005>

Géneau, C. E., Wäckers, F. L., Luka, H., Daniel, C., & Balmer, O. (2012). Selective flowers to enhance biological control of cabbage pests by parasitoids. *Basic and Applied Ecology*, *13*(1), 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.10.005>

Gillespie, M., Wratten, S., Sedcole, R., & Colfer, R. (2011). Manipulating floral resources dispersion for hoverflies (Diptera: Syrphidae) in a California lettuce agro-ecosystem. *Biological Control*, *59*(2), 215-220. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.07.010>

Gontijo, L. M. (2019). Engineering natural enemy shelters to enhance conservation biological control in field crops. *Biological Control*, *130*, 155–163). <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.10.014>

González, G. (2006). Los Coccinellidae de Chile. (Online) <http://www.coccinellidae.cl/pagunasWebChile/Inicio.php>

Haslett, J. R. (1989). Adult feeding by holometabolous insects: Pollen and nectar as complementary nutrient sources for *Rhingia campestris* (Diptera: Syrphidae). *Oecologia*, *81*(3), 361-363. <https://doi.org/10.1007/BF00377084>

Hatt, S., Uyttenbroeck, R., Lopes, T., Mouchon, P., Chen, J., Piqueray, J., Monty, A., & Francis, F. (2017). Do flower mixtures with high functional diversity enhance aphid predators in wildflower strips?. *European Journal of Entomology*, 114, 66-76. <https://doi.org/10.14411/eje.2017.010>

Heard, T. A. (1999). The role of stingless bees in crop pollination. *Annual review of entomology*, 44(1), 183-206

Hein, L. (2009). The economic value of the pollination service, a review across scales. *Open Ecology Journal*, 2(1), 74-82.

Hermes, M. G., & Köhler, A. (2006). The flower-visiting social wasps (Hymenoptera, Vespidae, Polistinae) in two areas of Rio Grande do Sul State, southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 50, 268-274.

Hogg, B. N., Nelson, E. H., Mills, N. J., & Daane, K. M. (2011). Floral resources enhance aphid suppression by a hoverfly. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 141(2), 138-144. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2011.01174.x>

Hyder, M., Li, Y., Raza, M. F., Zhang, M., Chen, J., Mao, J., Bukero, A., & Zhang, L. (2023). Enhancing *Coccinella* beetle biological pest control via a floral approach in cucumber greenhouse. *Life*, 13(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/life13102080>

Irvin, N. A., Pierce, C., & Hoddle, M. S. (2021). Evaluating the potential of flowering plants for enhancing predatory hoverflies (Syrphidae) for biological control of *Diaphorina citri* (Liviidae) in California. *Biological Control*, 157, 104574. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104574>

Irvin, N. A., Wratten, S. D., Frampton, C. M., Bowie, M. H., Evans, A. M., & Moar, N. T. (1999). The phenology and pollen feeding of three hover fly (Diptera: Syrphidae) species in

Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Zoology*, 26(2), 105-115.
<https://doi.org/10.1080/03014223.1999.9518182>

Jandt, J. M., McCall, E., & Toth, A. L. (2024). Native *Polistes* wasps (Hymenoptera: Vespidae) hold potential as biocontrol agents for lepidopteran pests of Brassica. *Journal of economic entomology*, 117(5), 1753-1759.

Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45, 175-201.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.175>

Laubertie, E. A., Wratten, S. D., & Hemptinne, J.L. (2012). The contribution of potential beneficial insectary plant species to adult hoverfly (Diptera: Syrphidae) fitness. *Biological Control*, 61(1), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.12.010>

Letourneau, D. K., Armbrrecht, I., Rivera, B. S., Lerma, J. M., Rrez, C. G., Rangel, J. H., Rivera, L., Saavedra, C. A., Torres, A. M., & Trujillo, A. R. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological applications*, 21(1), 9-21.

Lundgren, J. G. (2009). Nutritional aspects of non-prey foods in the life histories of predaceous Coccinellidae. *Biological Control*, 51(2), 294-305.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.05.016>

Manfrino, R. G., Salto, C. E., & Zumoffen, L. (2011). Estudio de las asociaciones áfidos-entomófagos sobre *Foeniculum vulgare* (Umbelliferae) y *Conyza bonariensis* (Asteraceae) en la región central de Santa Fe, Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 70(1-2), 99-109.

Macias-Macias, O., Chuc, J., Ancona-Xiu, P., Cauich, O., & Quezada-Euán, J. J. G. (2009). Contribution of native bees and Africanized honey bees (Hymenoptera: Apoidea) to

Solanaceae crop pollination in tropical México. *Journal of Applied Entomology*, 133(6), 456-465.

Martínez-Uña, A., Martín, J. M., Fernández-Quintanilla, C., & Dorado, J. (2013). Provisioning floral resources to attract aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae) useful for pest management in central Spain. *Journal of Economic Entomology*, 106(6), 2327-2335. <https://doi.org/10.1603/EC13180>

Mercer, N. H., Teets, N. M., Bessin, R. T., & Obrycki, J. J. (2020). Supplemental foods affect energetic reserves, survival, and spring reproduction in overwintering adult *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology*, 49(1), 1-9. <https://doi.org/10.1093/ee/nvz137>

Mexzón, R. G., & Chinchilla, C. (2003). Especies vegetales atrayentes de la entomofauna benéfica en plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. *Palmas*, 24(1), 33-57.

Meyer, B., Jauker, F., & Steffan-Dewenter, I. (2009). Contrasting resource-dependent responses of hoverfly richness and density to landscape structure. *Basic and Applied Ecology*, 10(2), 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2008.01.001>

Pineda, A., & Marcos-García, M. Á. (2008). Use of selected flowering plants in greenhouses to enhance aphidophagous hoverfly populations (Diptera: Syrphidae). *Annales de La Société Entomologique de France (N.S.)*, 44(4), 487-492. <https://doi.org/10.1080/00379271.2008.10697584>

Pinheiro, L. A., Torres, L., Raimundo, J., & Santos, S. A. P. (2013). Effect of seven species of the family Asteraceae on longevity and nutrient levels of *Episyrphus balteatus*. *BioControl*, 58(6), 797-806. <https://doi.org/10.1007/s10526-013-9535-x>

Pontin, D. R., Wade, M. R., Kehrl, P., & Wratten, S. D. (2006). Attractiveness of single and multiple species flower patches to beneficial insects in agroecosystems. *Annals of Applied Biology*, 148(1), 39-47. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.00037.x>

Ribeiro, A. L., & Gontijo, L. M. (2017). Alyssum flowers promote biological control of collard pests. *BioControl*, 62(2), 185-196. <https://doi.org/10.1007/s10526-016-9783-7>

Ricarte, A., Jover, T., Marcos-García, M. A., Micó, E., & Brustel, H. (2009). Saproxyllic beetles (Coleoptera) and hoverflies (Diptera: Syrphidae) from a Mediterranean forest: towards a better understanding of their biology for species conservation. *Journal of Natural History*, 43(9-10), 583-607

Ricketts, T. H. (2004). Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation biology*, 18(5), 1262-1271.

Rodríguez-Gasol, N., Alins, G., Veronesi, E. R., & Wratten, S. (2020). The ecology of predatory hoverflies as ecosystem-service providers in agricultural systems. *Biological Control*, 151, 104405.

Sáenz, Á. S., Cadet-Piedra, E., & Gómez-Gómez, R. (2023). Asociación entre entomofauna y arvenses en caña de azúcar. *Agronomía Mesoamericana*, 34(3), 51502. <https://doi.org/10.15517/am.2023.51502>

Salvarrey, S., Santos, E., Arbulo, N., Giménez, G., & Invernizzi, C. (2020). Characteristics of the tomato fruit (*Solanum lycopersicum*) using native bumblebees (*Bombus atratus*) as pollinators in greenhouse. *Agrociencia (Uruguay)*, 24(1).

Stowe, H. E., Michaud, J. P., & Kim, T. N. (2021). Floral resources enhance fecundity, but not flight activity, in a specialized aphid predator, *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 748870.

Sutherland, J. P., Sullivan, M. S., & Poppy, G. M. (2001). Distribution and abundance of aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae) in wildflower patches and field margin habitats. *Agricultural and Forest Entomology*, 3(1), 57-64. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2001.00090.x>

Sutherland, J., Sullivan, M., & Poppy, G. (1999). The influence of floral character on the foraging behaviour of the hoverfly, *Episyrphus balteatus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 93, 157-164. <https://doi.org/10.1023/A:1003844307934>

Toni, H. C., Djossa, B. A., Ayenan, M. A. T., & Teka, O. (2021). Tomato (*Solanum lycopersicum*) pollinators and their effect on fruit set and quality. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(1), 1-13.

Togni, P., Venzon, M., Muniz, C., Martins, E., Pallini, A., & Sujii, E. (2016). Mechanisms underlying the innate attraction of an aphidophagous coccinellid to coriander plants: Implications for conservation biological control. *Biological Control*, 92, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.10.002>

Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H., & Jacot, K. (2014). Targeted flower strips effectively promote natural enemies of aphids. *Landscape Management for Functional Biodiversity IOBC-WPRS Bulletin*, 100(May), 131–135.

Tschumi, M., Albrecht, M., Collatz, J., Dubsky, V., Entling, M. H., Najar-Rodriguez, A. J., & Jacot, K. (2016). Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *Journal of Applied Ecology*, 53(4), 1169-1176. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12653>

Tylianakis, J. M., Didham, R. K., & Wratten, S. D. (2004). Improved fitness of aphid parasitoids receiving resource subsidies. *Ecology*, 85(3), 658-666. <https://doi.org/10.1890/03-0222>

Van Rijn, P. C. J., Kooijman, J., & Wäckers, F. L. (2013). The contribution of floral resources and honeydew to the performance of predatory hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Biological Control*, 67(1), 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.06.014>

Van Rijn, P. C. J., & Wäckers, F. L. (2016). Nectar accessibility determines fitness, flower choice and abundance of hoverflies that provide natural pest control. *Journal of Applied Ecology*, 53(3), 925-933. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12605>

Vargas, J. (2020). “Relación de las arvenses acompañantes al cultivo del café (*Coffea arabica* L.) con la presencia de los enemigos naturales de la broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari, Coleoptera: Curculionidae) durante la época seca en Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela, para su futura implementación en una estrategia de control biológico conservativo.” Tesis. Universidad de Costa Rica. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30768.07681>

Vattala, H. D., Wratten, S. D., Phillips, C. B., & Wäckers, F. L. (2006). The influence of flower morphology and nectar quality on the longevity of a parasitoid biological control agent. *Biological Control*, 39(2), 179-185. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.06.003>

Walton, N., & Isaacs, R. (2011). Influence of native flowering plant strips on natural enemies and herbivores in adjacent blueberry fields. *Environmental Entomology*, 40, 697-705. <https://doi.org/10.1603/EN10288>

Wille, A., Orozco, E., & Raabe, C. (1983). Polinización del chayote *Sechium edule* (Jacq.) Swartz en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 31(1), 145-154.

Zamora Mejías, D., & Hanson, P. E. (2017). Clave dicotómica para especies parasitoides e hiperparasitoides (Hymenoptera) de áfidos (Hemiptera: Aphididae) de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 565. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i3.24640>

CAPÍTULO 2.

Efecto de la siembra de franjas de flores en la atracción de insectos benéficos y el control de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en el cultivo de cebollino (*Allium fistulosum*)

RESUMEN

Una de las técnicas más prometedoras para el control biológico por conservación (CBC) es la siembra de franjas florales en los márgenes de los cultivos, con el objetivo de incrementar las poblaciones de enemigos naturales y, por ende, mejorar el control de plagas. En este estudio, se evaluó el efecto de estas franjas florales sobre la abundancia de enemigos naturales y la reducción de la población de áfidos en plantas de cebollino. Para ello, se realizaron dos tipos de muestreo: uno en el cultivo, donde se midió la abundancia de áfidos y enemigos naturales en plantas de cebollino bajo tres tratamientos (cebollinos asociadas a un borde floral, borde sin flores y plantas de cebollino control, que excluían a los enemigos naturales); y otro muestreo en el borde del cultivo, donde se evaluó la abundancia de enemigos naturales adultos asociados a los bordes con y sin flores. Los resultados mostraron que las franjas de flores incrementaron en un 858% la abundancia de enemigos naturales de áfidos en el borde del cultivo, y redujeron la abundancia de áfidos en las plantas de cebollino adyacentes en un 70% (IC95%: 52%, 83%, $p < .001$) en febrero y un 70% (IC95%: 66%, 75%, $p < .001$) en julio 2024. Los sírfidos afidófagos fueron los enemigos naturales más abundantes en la franja de flores (abundancia relativa del 72%) y en las plantas de cebollino (con un 96,29% y 92,21%, en el cada experimento). Además, otros enemigos naturales, polinizadores y herbívoros también se beneficiaron de la franja de flores. Este es el primer registro del uso exitoso de *Brassica napus*, *Raphanus sativus*, *Eruca sativa*, *Anethum graveolens* y *Bidens alba* en una franja flores para el control de áfidos. El éxito del CBC de áfidos se atribuye a la cuidadosa selección de los recursos florísticos. Estos resultados podrían contribuir a mejorar la aceptación de los productores en cuanto al uso de plantas acompañantes en los cultivos.

ABSTRAC

One of the most promising techniques for conservation biological control (CBC) is the planting of floral strips along the margins of crops, with the aim of increasing natural enemy populations and, consequently, improving pest control. This study evaluated the effect of these floral strips on the abundance of natural enemies and the reduction of aphid populations on chive plants. Two types of sampling were conducted: one in the crop, where the abundance of aphids and natural enemies on chive plants was measured under three treatments (chives associated with a floral border, border without flowers, and control chive plants that excluded natural enemies); and another sampling at the crop's edge, where the abundance of adult natural enemies associated with floral and non-floral borders was assessed. The results showed that floral strips increased the abundance of aphid natural enemies by 858% at the crop edge and reduced aphid abundance on adjacent chive plants by 70% (95% CI: 52%, 83%, $p < .001$) in February and 70% (95% CI: 66%, 75%, $p < .001$) in July 2024. Aphidophagous syrphids were the most abundant natural enemies in the floral strip (relative abundance of 72%) and on the chive plants (96,29% and 92,21% in each experiment). Additionally, other natural enemies, pollinators, and herbivores also benefited from the floral strip. This is the first record of the successful use of *Brassica napus*, *Raphanus sativus*, *Eruca sativa*, *Anethum graveolens*, and *Bidens alba* in a floral strip for aphid control. The success of aphid CBC is attributed to the careful selection of floral resources. These results could help increase producer acceptance of companion plants in crops.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha ganado relevancia la adopción de prácticas ecológicas que buscan fortalecer las redes tróficas asociadas a la regulación natural de herbívoros (Gurr et al., 2003; Bianchi et al., 2006). El control biológico por conservación (CBC) plantea como estrategia fundamental el mejoramiento del hábitat para incrementar las poblaciones de enemigos naturales como; insectos depredadores y parasitoides, que ocurren naturalmente en los agroecosistemas (Landis, Wratten & Gurr, 2000; Gurr, Wratten & Alteri, 2004). Una de las técnicas más promisorias es la siembra de franjas de flores en los márgenes de los cultivos (Pfiffner & Wyss, 2004), que proporcionan recursos esenciales como néctar, polen, presas/hospederos alternativos, ligamaza, refugio y vías de tránsito (Jervis, Lee & Heimpel, 2004), que han demostrado mejorar la longevidad (Van Rijn, Kooijman & Wäckers, 2013; van Rijn & Wäckers, 2016), reproducción (Su et al., 2023) y dispersión (Gillespie et al., 2011) de los insectos benéficos.

El uso de recursos florales se ha asociado con la reducción de las poblaciones de áfidos en frutales (Gontijo, Beers & Snyder, 2013; Campbell et al., 2017), cereales (Bertalero et al., 2018), trigo (Tylianakis, Didham & Wratten, 2004), sistemas agroforestales (Staton et al., 2021) y hortalizas como papa (*Solanum tuberosum* L.) (Tschumi et al., 2016), brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) (Brennan, 2016), repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) (Ribeiro & Gontijo, 2017) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) (Pascual-Villalobos et al., 2006; Hogg et al., 2011; Skirvin et al., 2011). Los áfidos (Hemiptera: Aphididae) son una plaga frecuente en muchos cultivos, y tienen gran importancia en cultivos como tomate, chile dulce, cebolla, cebollino, lechuga, cítricos, melón, sandía y ornamentales (Sánchez, Agüero & Rivera, 2001; Voegtlin et al., 2003). Los daños causados por estos insectos son de dos tipos: daños directos por la succión de la savia reduciendo el vigor de las plantas y daños indirectos por la transmisión de virus (Dedryver, le Ralec & Fabre, 2010) y el desarrollo de fumagina. El áfido de la cebolla *Neotoxoptera formosana* L. es una plaga de gran importancia económica en cultivos de *Allium* (Zhang et al., 2024), especializado en este grupo de plantas las cuales puede identificar debido a sus compuestos volátiles azufrados (Honri, 2007; Webster, 2012). Es importante debido a su capacidad de atacar bulbos almacenados y en

etapas iniciales del cultivo puede causar amarillamiento y muerte de plantas en infestaciones muy severas (Vasicek et al., 2005).

Varios estudios han demostrado que el uso de recursos florales puede aumentar las poblaciones de enemigos naturales en los cultivos (Pineda & Marcos-García, 2008; Haaland, Naisbit & Bersier, 2011; Walton & Isaacs, 2011; Ribeiro & Gontijo, 2017). Sin embargo, la siembra de estos recursos no siempre se traduce en una reducción de las plagas (Landis et al., 2000). Por ejemplo, Balzan, Bocci & Moonen (2014) encontraron que, aunque la diversidad floral aumentó las poblaciones de insectos benéficos, no afectó significativamente la reducción de la plaga ni el daño causado por *Tuta absoluta* en parcelas de tomate. El CBC trata con redes ecológicas complejas de las cuales existen importantes vacíos de conocimiento, que a su vez representan retos para la implementación exitosa de prácticas de conservación de enemigos naturales, tales como identificar los recursos florales accesibles y atractivos para los enemigos naturales objetivo (Branquart & Hemptinne, 2000; Géneau et al., 2012), evitar plantas que atraigan insectos herbívoros plaga (Balzan et al., 2016), reducir el aumento de depredadores intergremiales y proveer los recursos florales en el momento en que el sistema de cultivo lo requiera. Al mismo tiempo variables particulares de cada sistema de cultivo pueden dificultar el éxito del uso de franjas de flores como el uso intensivo de pesticidas (Campbell et al., 2017), umbrales económicos muy bajos y una agricultura a gran escala que dificulte la dispersión de los enemigos naturales.

Este trabajo busca responder a la pregunta de si la siembra de franjas florales puede ser una estrategia efectiva para aumentar la presencia de insectos benéficos y mejorar el control biológico de áfidos en el cultivo de cebollino. A través de la comparación de parcelas con y sin franjas florales. Los resultados de este estudio podrían contribuir a la promoción de prácticas agrícolas más sostenibles, que permitan reducir el uso pesticidas y mejoren la rentabilidad y biodiversidad en los agroecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El ensayo se realizó en el Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica (CNEAO) del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), ubicado en La Chinchilla de Cartago a 1600 m de elevación, en las coordenadas geográficas, 9°52'55.20"N 83°53'41.12"W; en la Región de Desarrollo Central Oriental de Costa Rica, dentro de la zona de vida bosque húmedo montano bajo, con temperaturas que oscilan entre 12 °C a 18 °C y precipitaciones entre los 2000 a 4000 mm anuales. El establecimiento de las parcelas se realizó en lotes sembrados regularmente con hortalizas con un manejo orgánico y libres de recursos florísticos en el borde y alrededores. La disponibilidad de lotes fue variable por lo que en cada experimento se utilizaron lotes diferentes aunque siempre dentro de la misma área (Fig. 14).

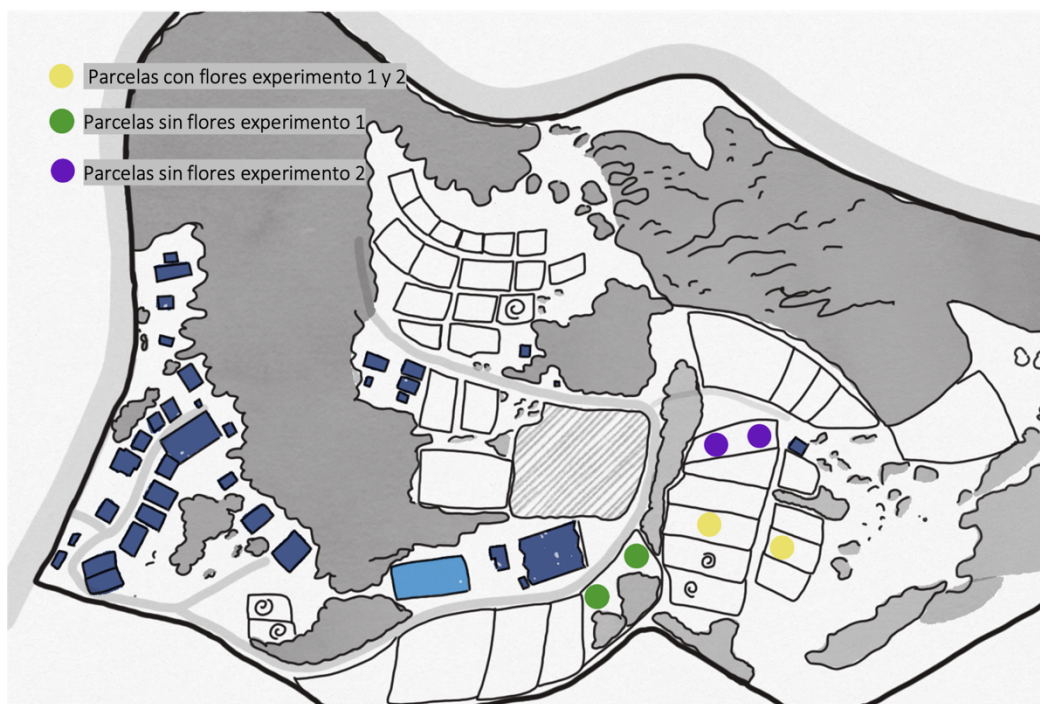


Figura 14. Ubicación de las parcelas de cebollino con el borde con flores y borde sin flores en el primer (mayo 2023) y segundo experimento (septiembre 2023), en el Centro Nacional Especializado en Agricultura orgánica (CNEAO), La Chinchilla, Cartago, Costa Rica.

Parcelas experimentales

Se establecieron dos parcelas de hortalizas con un borde de flores (tratamiento con flores) y dos parcelas de hortalizas con el borde sin flores (tratamiento sin flores). En cada parcela se colocaron cuatro cajas con maya antiáfidos sobre el cebollino inoculado con áfidos y se sellaron para excluir los enemigos naturales (tratamiento control). El arreglo de las parcelas consistió en dos hileras de borde, donde se sembraron los recursos florísticos en el tratamiento con flores y cultivos no hospederos de áfidos o suelo desnudo en el tratamiento sin flores. En los bordes con flores cada especie de planta se ubicó en bloques de 5 m². Las hileras internas de las parcelas estuvieron formadas por cinco camas sembradas con hortalizas; dos camas con lechuga (*Lactuca sativa*), dos camas con kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) y una cama mixta de lechuga y Kale en el centro (Fig. 15). La siembra de hortalizas dentro de las parcelas experimentales procuró homogeneizar las condiciones en ambos tratamientos durante el desarrollo de las franjas de flores, debido a que fue la primera vez que se sembraron hortalizas en los lotes del tratamiento sin flores en el primer experimento. Las parcelas con flores y sin flores se ubicaron lo más separado posible según la disponibilidad de los lotes en el CNEAO, en este caso fueron 100 metros (Fig. 14).

Los recursos florísticos sembrados en las parcelas con flores y el material usado para la siembra fueron: eneldo, *Anethum graveolens* (Apiaceae) (almácigo); arúgula, *Eruca sativa* (Brassicaceae) (almácigo); alyssum, *Lobularia maritima* (Brassicaceae) (almácigo), mostaza criolla *Brassica napus* (Brassicaceae) (almácigo), nabo blanco *Raphanus sativus* (Brassicaceae) (semilla) y moriseco *Bidens alba* (Asteraceae) (semilla). Estas especies fueron previamente seleccionadas por su capacidad para atraer enemigos naturales de áfidos; *A. graveolens*, *B. napus*, *E. sativa* y *L. maritima* atraen sírfidos afidófagos (Diptera: Syrphidae), y *A. graveolens*, *B. alba*, *B. napus* y *E. sativa* atraen mariquitas depredadoras (Coleoptera: Coccinellidae).

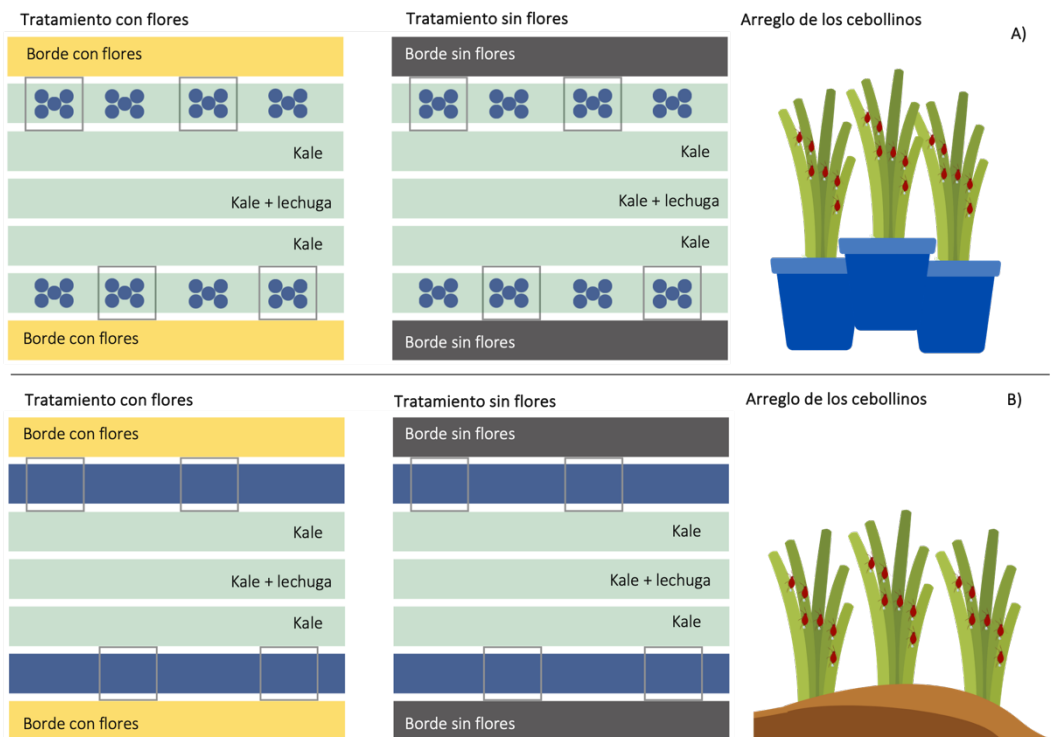


Figura 15. Diseño de las parcelas del primer experimento (A) y segundo experimento (B): de izquierda a derecha se muestra el esquema de la parcela con flores, parcela sin flores y forma de colocar los cebollinos (A) en maceta o (B) en el suelo. Los cuadros en gris representan el control absoluto donde se excluyeron los enemigos naturales. Áreas de color azul corresponden a la siembra del cebollino.

Se realizaron dos experimentos consecutivos similares con variaciones en la forma en que se estableció el cultivo de cebollino y la inoculación de los áfidos (Fig. 15). En el experimento 1 el tratamiento con flores se estableció el 8 de febrero del 2023 y el tratamiento sin flores el 9 de marzo del 2023. En el segundo experimento la siembra de ambos tratamientos (con flores y sin flores) se realizó el 2 julio de 2023. En el primer experimento los cebollinos fueron colocados en maceteras en los espacios libres después de la cosecha de lechuga (Figs. 16A y B), mientras que en el segundo experimento las plantas de cebollino se sembraron directamente en las parcelas (Figs. 16C y D).



Figura 16. Parcelas experimentales para evaluar el efecto del uso de recursos florales en la atracción de insectos benéficos y control de áfidos: parcela con flores (A) y parcela sin flores (B) experimento 1; parcela con flores (A) y parcela sin flores (D) experimento 2.

Crianza de áfidos: En ambos experimentos, los cebollinos fueron inoculados con áfidos de la especie *Neotoxoptera formosana* Takahashi, 1921 (Aphididae). La crianza de esta especie se llevó a cabo mediante la recolección de más de 200 hembras en un cultivo de cebollino ubicado en Oreamuno, Cartago. Se formaron 30 grupos, cada uno compuesto por tres a cinco hembras, que fueron aisladas en cajones de crianza con malla antiáfidos y colocadas en plantas de cebollino en maceteras. Los áfidos nacidos en aislamiento se utilizaron para escalar la población, asegurando que las hembras parasitadas fueran eliminadas durante el proceso.

Establecimiento de cebollino e inoculación de áfidos

Los cebollinos del experimento 1 se sembraron en maceteras con el objetivo de inocularlos en un vivero y colocarlos en las parcelas experimentales en el momento que estuviera disponible el recurso florístico en el campo. Se sembraron 800 cebollinos en macetas de 25 cm de alto y 20 cm de diámetro, cinco cebollinos por maceta, para un total de 160 macetas. La inoculación se realizó a los 60 días después de la siembra de los cebollinos. Cada macetera fue inoculada con dos a cinco áfidos. Las colonias se desarrollaron durante tres semanas en un invernadero con malla antiafidos en el CNEAO para evitar el parasitismo o depredación por parte de los enemigos naturales.

Las macetas con cebollinos y áfidos se colocaron en las parcelas experimentales el 26 de abril del 2023. Se tomaron maceteras tanto del centro como del borde de la cama del vivero de crianza, con el fin de distribuir equitativamente los áfidos en los diferentes tratamientos. Se colocaron 20 macetas en cada hilera donde antes se había sembrado la lechuga (Fig. 17A). Las macetas se distribuyeron en cuatro grupos de cinco macetas por hilera, dos de los cuales fueron cubiertos con una caja con malla antiafidos para establecer el tratamiento control (exclusión de enemigos naturales). Los cebollinos en el campo se reinocularon 8 días después del establecimiento de las parcelas debido a que durante el proceso del traslado de las maceteras del vivero al campo, se desprendieron áfidos de las plantas de cebollino. En el segundo experimento los cebollinos se sembraron directamente en las parcelas (Fig. 17B) y 45 días después de la siembra se inocularon con áfidos, tres a cuatro áfidos por cada tres plantas de cebollino, y se colocaron las cajas de malla anti áfidos para excluir los enemigos naturales.



Figura 17. Establecimiento del cebollino y vegetación en el borde de las parcelas experimentales para evaluar el efecto del uso de recursos florales en la atracción de insectos benéficos y control de áfidos: A) cebollinos sembrado en maceteras en el experimento 1; B) cebollinos sembrados en el suelo en el experimento 2; C) borde sin flores en el experimento 2; D) borde con flores en el experimento 2. Las flechas blancas indican las cajas para exclusión de enemigos naturales del tratamiento control.

Muestreo

Muestreo de enemigos naturales en los márgenes: Durante el segundo experimento se realizaron tres muestreos de insectos asociados al borde sin flores y borde con flores (10, 17 y 24 de septiembre del 2023). El muestreo en el borde con flores se llevó acabo directamente sobre las plantas floreadas, mientras que el muestreo en el borde control se realizó en la vegetación del borde de la parcela sin flores, que incluía pasto y plantas arbustivas no floridas. En caso de que las plantas presentaran flores, estas no correspondían a especies potencialmente atractivas para sírfidos, como *Ocimum kilimanshkaricum* (Lamiaceae),

Tithonia diversifolia (Asteraceae), *Senna reticulata* (Fabaceae) y *Brugmansia arborea* (Solanaceae) (Fig. 17C). Se realizaron ocho puntos de muestreo en cada borde de las cuatro parcelas, 15 golpes de red entomológica por punto. Las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas, y en el laboratorio se procedió a eliminar los residuos vegetales. Los insectos fueron separados en alcohol para su conservación, y luego se identificaron los enemigos naturales de los áfidos, incluyendo sírfidos afidófagos, coccinélidos y avispas parasitoides (Braconidae: Aphidiinae). Además, se identificaron y categorizaron otros grupos de artrópodos según su rol ecológico. Para la identificación, se consultaron varias claves: la clave no publicada de Syrphidae para Mesoamérica de C.F. Thompson, la clave de Coccinellidae de Costa Rica recopilada por P. Hanson, y la clave dicotómica de parasitoides e hiperparásitos de áfidos (Zamora Mejías & Hanson, 2017). La identificación de los áfidos fue realizada por Nicolás Pérez Hidalgo del Instituto de Investigación para la Agricultura de Valencia, y la identificación de las abejas fue realizada por Manuel Ángel Zumbado Arrieta de Srum Agroecología.

Conteo de insectos en cebollino: Se contabilizó la cantidad de áfidos y enemigos naturales de áfidos (huevos, larvas o pupas de sírfidos afidófagos (Diptera: Syrphidae), huevos, larvas y adultos de coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) y áfidos momificados y avispas parasitoides adultas (Braconidae: Aphidiinae) en 30 plantas de cebollino por parcela y en el tratamiento control. Se realizó un muestreo sistemático a los 8,15, 22, 25, 29 y 32 días después de la inoculación (DDI) de los áfidos (en el caso del primer experimento apartir del día en que se colocaron las maceteras inoculadas con áfidos en las parcelas). Los conteos de áfidos y enemigos naturales se realizaron *in situ* del 4 al 28 de mayo 2023 durante el primer experimento y del 19 de agosto al 10 septiembre del 2023 durante el segundo experimento. No se recolectó ningún espécimen de los enemigos naturales encontrados en las plantas de cebollino para no afectar la supresión de áfidos, por lo que la identificación se realizó a nivel de grupo (Syrphidae, Coccinellidae y Aphidiinae).

Análisis estadístico

Se emplearon modelos lineales generalizados (GLM) de la familia Quasipoisson, para evaluar el efecto de los tratamientos (sin flores, con flores, control) sobre la abundancia de áfidos en las plantas de cebollino, analizar la población de áfidos a los 8,15, 22, 25, 29 y 32 días después de la inoculación de áfidos (DDI), y evaluar el efecto del borde de flores sobre la abundancia de enemigos naturales de áfidos y otros grupos ecológicos (depredadores, parasitoides, polinizadores y herbívoros). Se utilizaron Modelos Binomiales Negativos (NB) para analizar la abundancia de enemigos naturales de áfidos en las plantas de cebollino por tratamiento. El criterio de información de Akaike (AIC por sus siglas en inglés) fue utilizado para comparar y seleccionar los modelos más adecuados. El promedio de la abundancia de los grupos ecológicos de insectos en el borde con flores y sin flores y el promedio de áfidos en las plantas de cebollino por tratamiento, se representaron mediante gráficos de barra con error estándar. La abundancia de áfidos a los DDI por tratamiento fueron representados con gráficos de barra en escala logarítmica, para facilitar la visualización de las diferencias en abundancia de áfidos en un amplio rango de valores. Los análisis estadísticos y la generación de gráficos fueron realizados con el software R (versión 4.4.0) y el paquete ggplot2.

RESULTADOS

Efecto de las franjas de flores en la abundancia de insectos benéficos en el borde

La abundancia de los enemigos naturales de áfidos adultos aumentó 858% en las franjas de flores respecto al borde sin flores, con un factor de 9,58 (IC95%: 4,64, 21,42, $p < ,001$) (Fig. 18). Otros grupos de insectos benéficos también se asociaron en mayor medida con la franja de flores: los insectos polinizadores aumentaron 23,8 veces (IC95%: 11,24, 63,43, $p < ,001$), los parasitoides 12,87 veces (IC95%: 6,31, 29,56, $p < ,001$) y los depredadores 3,52 veces (IC95%: 2,18, 5,61, $p < ,001$), respecto a la parcela sin flores. La abundancia de insectos herbívoros también fue superior en la parcela con flores, con un factor de 18,29 (IC95%: 9,38, 39,85, $p < ,001$) que el borde sin flores.

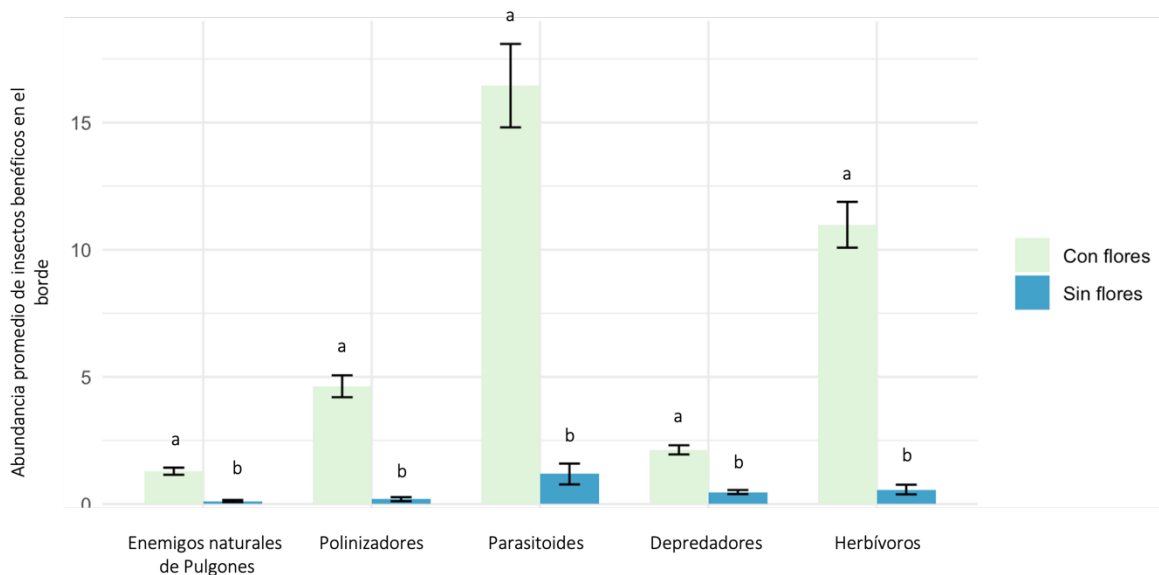


Figura 18. Efecto del borde con flores en la abundancia promedio de grupos de ecológicos de insectos. Promedio (\pm Error estándar). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < .001$).

Los enemigos naturales de áfidos más abundantes en el borde de flores fueron los sírfidos afidófagos (Syrphidae) con el 72% de los registros (representados por *Allograpta obliqua* (38,7%), *Toxomerus CR-3* (14,4%) y *Toxomerus muutus* (12%) ($n=82$)), seguidos por los coccinélidos (Coccinellidae) (12,61%), avispa parasitoides Aphidiinae (Braconidae) (12,61%) y crisopas (Chrysopidae) (1,8%) ($n=111$). Se encontraron otros grupos de enemigos naturales, entre los parasitoides los más abundantes fueron las avispas Opiinae (Braconidae) (24,95%), Pteromalidae (20,16%) y Eulophidae (14,59%), entre los depredadores fueron las arañas (84,70%) y avispas (14,21%) ($n=1419$). Otro grupo asociado al borde de flores fue el de los polinizadores, principalmente por abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) en particular la especie *Partamona orizabaensis* (32,19%) y las abejas Halictidae del género *Lasioglossum* (23,87%) ($n=398$) (Cuadro 3). Por otro lado, los insectos herbívoros más abundantes en el borde de flores fueron Miridae (64,72%) y Thysanoptera (20,34%) ($n=944$).

Cuadro 3. Grupos ecológicos de artrópodos asociados al borde con flores y borde sin flores, en parcela hortalizas, Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica (INA), Oreamuno, Cartago.

	Flores		Sin Flores	
	Ab. Absoluta	Ab. Relativa (%)	Ab. Absoluta	Ab. Relativa (%)
Enemigos Naturales de áfidos	111		13	
<i>Allograpta obliqua</i> (Diptera: Syrphidae)	43	38,7	0	0,00
<i>Toxomerus</i> CR-3 (Diptera: Syrphidae)	12	10,8	2	15,38
<i>Toxomerus muutus</i> (Diptera: Syrphidae)	16	14,4	10	76,92
<i>Toxomerus</i> sp.1 (Diptera: Syrphidae)	7	6,3	0	0,00
<i>Toxomerus</i> sp.2 (Diptera: Syrphidae)	1	0,9	0	0,00
<i>Diaprosopa clavata</i> (Diptera: Syrphidae)	1	0,9	0	0,00
<i>Leucopodella</i> (Diptera: Syrphidae)	1	0,9	0	0,00
Coccinellidae sp.1 (Coleoptera: Coccinellidae)	12	10,8	0	0,00
<i>Colleomegilla maculata</i> (Coleoptera: Coccinellidae)	2	1,8	0	0,00
<i>Cycloneda emarginata</i> (Coleoptera: Coccinellidae)	0	0,00	1	6,66%
<i>Aphidius colemani</i> (Hymenoptera: Braconidae)	2	1,8	0	0,00
<i>Diarietiella rapae</i> (Hymenoptera: Braconidae)	12	10,8	0	0,00
<i>Chrysopa</i> (Neuroptera: Chrysopidae)	2	1,8	0	0,00
Parasitoide	1419		116	
Aphelinidae (Hymenoptera)	3	0,21	0	0,00
Bethylidae (Hymenoptera)	8	0,56	0	0,00
Braconidae (Hymenoptera)	3	0,21	2	1,72
Branonidae: Alyssinae ((Hymenoptera)	36	2,54	0	0,00
Braconidae: Chelonini (Hymenoptera)	1	0,07	0	0,00
Braconidae: Micrograstinae (Hymenoptera)	18	1,27	1	0,86
Braconidae: Opiinae (Hymenoptera)	354	24,95	18	15,52
Braconidae: Orgilinae (Hymenoptera)	4	0,28	0	0,00
Cerabronidae (Hymenoptera)	0	0,00	5	4,31
Chalcididae (Hymenoptera)	7	0,49	0	0,00
Crabronidae (Hymenoptera)	2	0,14	6	5,17
Diapriidae (Hymenoptera)	4	0,28	0	0,00
Encyrtidae (Hymenoptera)	38	2,68	5	4,31
Eulophidae (Hymenoptera)	207	14,59	0	0,00
Eurytomidae (Hymenoptera)	7	0,49	0	0,00
Figitidae (Hymenoptera)	99	6,98	23	19,83
Ichenumonidae (Hymenoptera)	20	1,41	25	21,55
Mymaridae (Hymenoptera)	70	4,93	0	0,00
Perilampidae (Hymenoptera)	3	0,21	0	0,00
Platygastridae (Hymenoptera)	93	6,55	0	0,00
Pompilidae (Hymenoptera)	1	0,07	1	0,86
Pteromalidae (Hymenoptera)	286	20,16	15	12,93
Scelionidae (Hymenoptera)	139	9,80	15	12,93
Torymidae (Hymenoptera)	1	0,07	0	0,00
Trichogrammatidae (Hymenoptera)	7	0,49	0	0,00
Tachinidae (Diptera)	8	0,56	0	0,00
Depredador	183		46	
Aranea	155	84,70	14	30,43
Dolichopodidae (Diptera)	1	0,55	0	0,00
Empididae (Diptera)	0	0,00	2	4,35
Mantodea	0	0,00	1	2,17
Reduviidae (Hemiptera)	1	0,55	10	21,74

Vespidae (Hymenoptera)	26	14,21	19	41,30
Herbívoro	944		56	
Aleyrodidae (Hemiptera)	8	0,85	0	0,00
Aphididae (Hemiptera)*	47	4,98	5	8,93
Cicadellidae (Hemiptera)	49	5,19	21	37,50
Coreidae (Hemiptera)	3	0,32	3	5,36
Membracidae (Hemiptera)	5	0,53	0	0,00
Miridae (Hemiptera)	611	64,72	8	14,29
Pentatomidae (Hemiptera)	27	2,86	8	14,29
Scutellaridae (Hemiptera)	1	0,11	0	0,00
<i>Diabrotica</i> (Chrysomelidae)	1	0,11	0	0,00
Thysanoptera	192	20,34	11	19,64
Polinizador	398		19	
Andrenidae				
<i>Protandrena</i>	4	1,01	0	0,00
Apidae				
<i>Apis mellifera</i> L. (Apini)	25	6,25	7	36,86
<i>Bombus mexicanus</i> (Bombini)	3	0,75	0	0,00
<i>Ceratina</i> (Xylocopini)	9	2,26	0	0,00
<i>Exomalopsis</i> (Exomalopsini)	2	0,50	0	0,00
<i>Geotrigona lutzii</i> (Camargo & Moure, 1996) (Meliponini)	25	6,28	0	0,00
<i>Partamona orizabaensis</i> (Strand, 1919) (Meliponini)	128	32,16	4	21,05
<i>Scaptotrigona subobscuripennis</i> (Schwarz, 1951) (Meliponini)	18	4,52	0	0,00
<i>Trigona corvina</i> (Cockerell, 1913) (Meliponini)	8	2,01	1	5,26
<i>Thygater</i> (Eucerini)	1	0,25	0	0,00
Colletidae				
<i>Hylaeus</i>	3	0,75	0	0,00
Halictidae				
<i>Agapostemum</i>	4	1,01	0	0,00
<i>Augochlora</i>	47	11,81	0	0,00
<i>Caenaugochlora</i>	3	0,75	0	0,00
<i>Habralictus</i>	9	2,26	0	0,00
<i>Lasioglossum</i>	95	23,87	4	21,05
<i>Mexalictus</i>	1	0,25	0	0,00
<i>Neocorymura</i>	6	1,51	3	15,78
<i>Sphecodes</i>	7	1,76	0	0,00
Otro	36		36	
Acari	15	30,61	7	14,29
Calliphoridae (Diptera)	1	2,04	11	22,45
Muscidae (Diptera)	0	0,00	2	4,08
<i>Ornida obesa</i> (Diptera: Syrphidae)	5	10,20	7	14,29
<i>Palpada furcata</i> (Diptera: Syrphidae)	8	16,33	4	8,16
<i>Palpada</i> sp1 (Diptera: Syrphidae)	3	6,12	0	0,00
Sarcophagidae (Diptera)	2	4,08	0	0,00
Stratiomyiidae (Diptera)	2	4,08	5	10,20
Formicidae (Hymenoptera)	7	14,29	11	22,45
Nabidae (Hemiptera)	2	4,08	0	0,00

(*) Durante el ensayo se registró la presencia de *Brevicoryne brassicae* L. en *Brassica napus*, *Raphanus sativus* y *Eruca sativa*.

Efecto de las franjas de flores sobre la abundancia de áfidos

Se encontraron diferencias significativas en la abundancia de áfidos en las plantas de cebollino entre las parcelas con flores, sin flores y tratamiento control en el primer y segundo ensayo ($p < ,001$) (Fig. 19). En el primer ensayo la abundancia promedio de áfidos en la parcela con flores fue de 5,05 áfidos/cebollino (IC95%: 3,27, 7,80), con una reducción del 70% (IC95%: 52%, 83%, $p < ,001$) respecto a la abundancia promedio en la parcela sin flores con 16.76 áfidos/cebollino (IC95%: 13,21, 21,27). Mientras que en la parcela control la abundancia de áfidos fue de 298,56 individuos/cebollino (IC95%: 263,16, 338,71), con un factor de 17,81 (IC95%: 9,02, 42,52, $p < ,001$) respecto a la abundancia de áfidos en la parcela sin flores. En el segundo ensayo la abundancia de áfidos en la parcela con flores fue 2.88 áfidos/cebollino (IC95%: 2,28, 3,48), con un 70% (IC95%: 66%, 75%, $p < ,001$) menos abundancia de áfidos que la parcela sin flores (9,58 áfidos/cebollino (IC95%: 8,95, 10,20)). En la parcela control la abundancia promedio de áfidos por cebollino fue de 43,16 (IC95%: 39,01, 47,75) con un factor de 4,51 (IC95%: 3,93, 5,15, $p < .001$) respecto a la parcela sin flores.

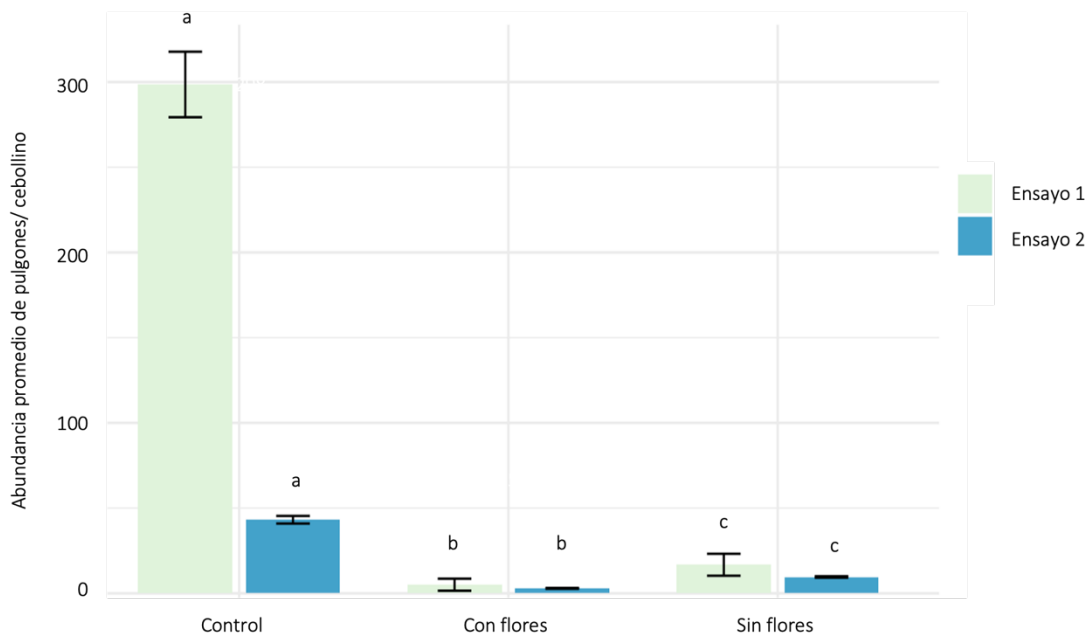


Figura 19. Efecto del borde de flores en la abundancia de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en plantas de cebollino. Promedio (\pm Error estándar). Letras diferentes indican una diferencia significativa entre tratamientos en cada ensayo ($p < ,001$).

Se encontraron diferencias significativas en la abundancia promedio de enemigos naturales de áfidos en las plantas de cebollino entre tratamientos en ambos experimentos ($p < ,005$) (Fig. 20). En la parcela sin flores del primer experimento, la abundancia promedio de enemigos naturales en las plantas de cebollino fue mayor (0,18 (IC95%: 0,12, 0,26)), con un 99,4% (IC95%: 13%, 256%, $p < ,005$) más enemigos naturales que la parcela con flores (0,09 enemigos naturales/cebollino (IC95%: 0,06, 0,14)). En el segundo experimento la mayor abundancia de enemigos naturales se registró en la parcela de flores con un 291% (IC95%: 183%, 439%, $p < ,001$) más que la parcela sin flores. En ambos experimentos en el tratamiento control se registró una abundancia promedio de áfidos cercana a cero (Fig. 7). Los enemigos naturales encontrados en los cebollinos durante el primer ensayo fueron los sírfidos afidófagos en el 96,29% de las observaciones y avispas parasitoides Aphidinae con el 3,70% ($n=81$), mientras que en el segundo experimento fueron los sírfidos afidófagos (92,21%), coccinélidos (5,60%) y avispas parasitoides (2,18%) ($n=321$) (Fig. 21).

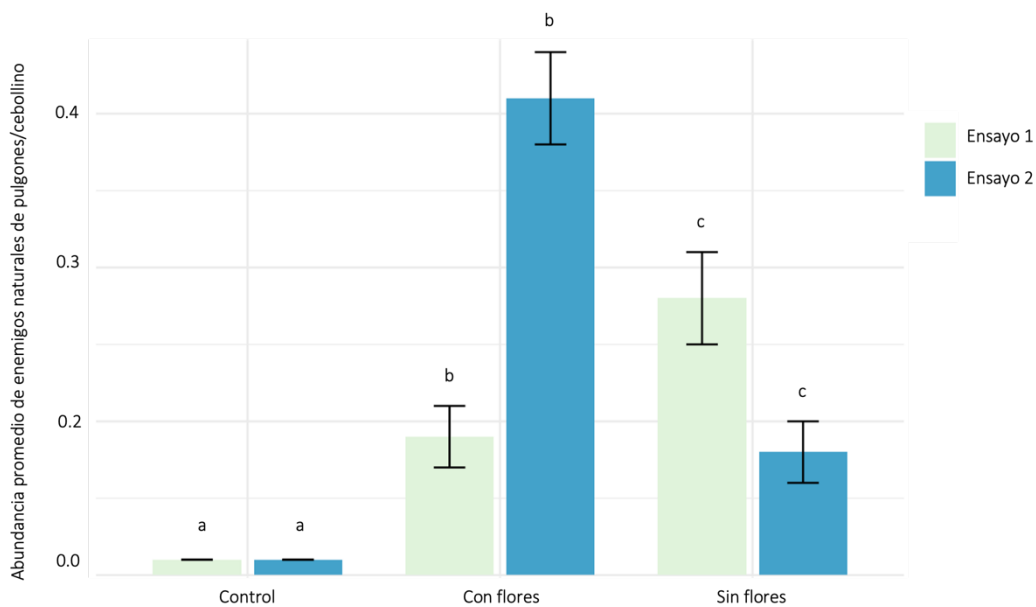


Figura 20. Efecto del borde de flores en la abundancia de enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en plantas de cebollino. Promedio (\pm Error estándar). Letras diferentes indican una diferencia significativa entre tratamientos en cada ensayo ($p < ,005$).



Figura 21. Enemigos naturales de áfidos (Hemiptera: Aphididae) registrados en plantas de cebollino: huevo (flecha indica el huevo de Syrphidae) (A), larva (B) y pupario (C) de sírfidos afidófagos (Diptera: Syrphidae); avispa parasitoide (Braconidae: Aphidinae) (D); adulto (E) y larva (F) del depredador *Hippodamia* (Coleoptera: Coccinellidae).

La abundancia promedio de áfidos en las plantas de cebollino en el tratamiento con flores, sin flores y control a los 8 DDI fue similar en ambos experimentos (Fig. 22), lo que indica que la inoculación de áfidos fue exitosa en el sentido homogenizar la abundancia de áfidos entre los tratamientos. A los 15 DDI, en el primer experimento, la abundancia de áfidos en la parcela con flores se redujo un 26,82% con respecto a la parcela sin flores (Fig. 22A), un 81,53% a los 22 DDI, un 78,98% a los 25 DDI, un 76,74% a los 29 DDI y un 71,72% a los 32 DDI. Durante el segundo experimento, la diferencia en el tratamiento con flores y sin flores se registró a partir de los 22 DDI, con una reducción en la abundancia de áfidos en la parcela con flores de 94,46% respecto a la parcela sin flores, 95% a los 25 DDI, 89,99% a los 29 DDI y 88,46% a los 32 DDI (Fig. 22B). La población de áfidos en la parcela control, libre de enemigos naturales, fue aumentando exponencialmente hasta llegar a los 532,81 áfidos/cebollino (IC95%: 424,07, 641,54) a los 29 DDI (Fig. 22B) en el primer experimento y 172,30 áfidos/cebollino (IC95%: 151,82, 195,54) a los 32 DDI en el segundo experimento (Figs. 22A y B).

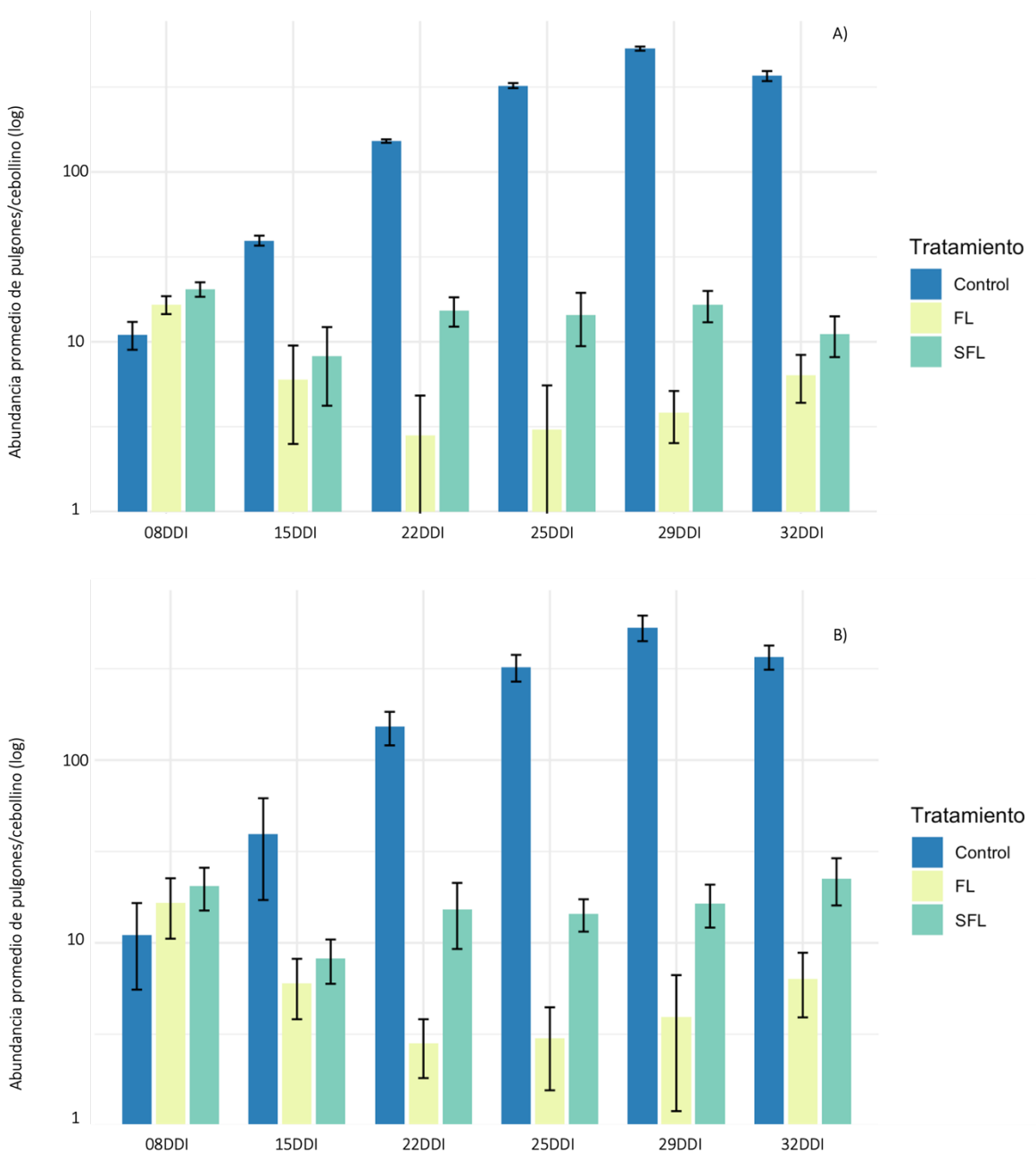


Figura 22. Efecto del margen de flores sobre el promedio de la abundancia de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en las plantas de cebollino por tratamiento (con flores (FL) y sin flores (SFL)), días después de la inoculación (DDI): A) primer experimento mayo 2023; B) segundo experimento septiembre 2023. Las barras de error representan el error estándar (SE). Los datos están representados en una escala logarítmica en el eje Y para facilitar la visualización de las diferencias en abundancia de áfidos en un amplio rango de valores.

DISCUSIÓN

Los resultados mostraron que las franjas de flores en el borde del cultivo contribuyeron al aumento de la abundancia de enemigos naturales de áfidos (ENA) en el borde y a la reducción de áfidos en las plantas de cebollino adyacentes. Las franjas de flores compuestas por plantas seleccionadas ha resultado más efectiva para promover ENA que las franjas de flores silvestres (Tschumi et al., 2014). El suministro de alimentos claves, como polen y néctar, para los enemigos naturales es ampliamente reconocido como una estrategia para mejorar el control biológico de herbívoros (Gurr et al., 2004; Pfiffner, 2004; Tschumi et al., 2015; Albrecht et al., 2021; Kowalska, Antkowiak & Sienkiewicz, 2022). La selección de recursos florales que sean atractivos y accesibles para los enemigos naturales es fundamental para el éxito del CBC (Wäckers y van Rijn, 2012). Tschumi et al. (2016) atribuyen el éxito de las franjas de flores a la selección cuidadosa de los recursos florales y su combinación para prolongar el periodo de floración. En este estudio se utilizaron recursos florales previamente seleccionados, primeramente mediante una revisión bibliográfica, donde se recopiló información sobre su capacidad para atraer ENA y segundo mediante un ensayo de atracción de enemigos naturales realizado en el mismo agroecosistema en el que se evaluó su efectividad sobre el control de áfidos. Con este mismo enfoque, Gontijo et al., (2013) identificaron el recurso florístico más utilizado por los enemigos naturales y luego determinaron su efecto en el CBC, obteniendo resultados positivos para el control de áfidos.

De las seis plantas que conformaron la franja de flores únicamente el Alyssum (*Lobularia maritima*) había sido utilizada con buenos resultados para el CBC de áfidos en investigaciones anteriores; en el cultivo de manzana (*Malus domestica* (Borkh.) Borkh.) (Gontijo et al., 2013), repollo (Ribeiro & Gontijo, 2017), brócoli (Brennan, 2016), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) (Zhong et al., 2024), rábano (*Raphanus sativus* L.) (Tiwari, Sharma & Wratten, 2020) y lechuga (Hogg et al., 2011). Esta investigación es el primer caso exitoso de CBC de áfidos para las otras especies de plantas utilizadas (*B. napus*, *R. sativus*, *E. sativa*, *A. graveolens* y *B. alba*). Estos recursos florales fueron evaluados en una franja de flores mixta, contrario a utilizar franjas de flores compuestas por una sola especie. Según, Albrecht et al., (2021) el control biológico no tiende a aumentar con la riqueza de plantas en las franjas

de flores, y además, puede ser más fácil establecer una franja mono especies que una franja multiespecie (Brennan, 2016). Sin embargo, mantener la biodiversidad de un agroecosistema es clave para su correcto funcionamiento (Tschardt et al., 2002; Haenke et al., 2009). Un manejo enfocado en la biodiversidad tiene el potencial de promover múltiples servicios ecosistémicos, entre ellos la polinización, servicio que sí tiende al aumento con la riqueza de plantas en las franjas de flores (Albrecht et al., 2021). Estudios comparativos entre franjas flores multi-especie y franjas de una sola especie, son necesarios para definir la mejor estrategia, según el cultivo y el objetivo del establecimiento del hábitat.

La franja de flores aumentó la abundancia de ENA adultos en el borde en un 858%, grupo compuesto principalmente por sírfidos afidófagos con un 72% de abundancia relativa, los cuales responden positivamente al aprovisionamiento de recursos florales (Pineda & Marcos-García, 2008; Gontijo et al., 2013; Tschumi et al., 2014; Tschumi et al., 2016), debido a su dependencia del polen para la maduración sexual y del néctar para el vuelo (Haslett, 1989; Irvin et al., 1999). Tsuchimi et al. (2016) también reportaron un aumento significativo en tres grupos de ENA, principalmente en Syrphidae en un 339%. Además, los sírfidos en este estudio también fueron los ENA más abundantes en las plantas de cebollino, con un 96,26% y 92,21% de abundancia relativa, en el primer y segundo experimento. De tal manera, que la franja de flores brindó recursos alimenticios para los enemigos naturales asociados al control de áfidos en el cultivo. La identificación de las especies de ENA que visitan las flores y las especies que controlan los áfidos en el cultivo permite esclarecer la red ecológica (flor/enemigo natural/herbívoro), útil para validar, aprender y optimizar los recursos florales. En este caso, la identificación de los ENA en las plantas de cebollino no se realizó a nivel, especie, debido a que no se recolectaron los estadios inmaduros para no afectar el resultado del estudio. Sin embargo el análisis a nivel de grupo mostró la relación entre la franja de flores y el control biológico en el cultivo.

Las franjas de flores actúan como hábitats semi naturales, donde los enemigos naturales encuentran alimento e incluso refugio contra condiciones ambientales adversas y pesticidas (Landis et al., 2000). Estos hábitats suelen atraer diferentes grupos de artrópodos (Haaland et al., 2011; Balzan et al., 2014; Campbell et al., 2017; Tiwari et al., 2020). En este caso, la

franja de flores también aumentó la abundancia de otros insectos benéficos, como los insectos polinizadores (23,8 veces (IC95%: 11,24, 63,43)), los parasitoides (12,87 veces (IC95%: 6,31, 29,56)) y los depredadores (3,52 veces (IC95%: 2,18, 5,61)). De hecho un argumento a favor de las franjas de flores es su potencial de brindar múltiples servicios ecosistémicos, en especial el control de plagas y la polinización de cultivos (Campbell et al., 2012; Balzan et al., 2014). Los dos grupos de abejas con mayor abundancia en el margen de flores fueron las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) y los halictidos (Halictidae). Las abejas sin aguijón tienen una importante participación en la polinización de ciertos cultivos como el café (*Coffea arabica*), aguacate (*Persea americana*) y chayote (*Sechium edule*) (Meléndez-Ramírez, Ayala & Delfín-González, 2018). Los meliponinos poseen hábitos generalistas aunque pueden utilizar temporalmente ciertos recursos florales especializados (Roubik & Moreno, 2018). Por otro lado, los halictidos son abejas solitarias importantes en la polinización de cultivos como el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) (Macias-Macias et al., 2009). El servicio de polinización aumenta cerca de las franjas de flores y decrece exponencialmente al alejarse del borde (Albrecht et al., 2021).

Varios grupos de avispas parasitoides fueron atraídas a las flores pequeñas de Asteraceae, Brassicaceae y Apiaceae utilizadas en el borde de flores en este experimento, posiblemente debido a que las flores de corola poco profunda también suelen ser atractivas para estos grupos de enemigos naturales (Campbell et al., 2012; Wäckers & van Rijn, 2012). Depredadores generalistas, como arañas y vespidos, también se asociaron a la franja de flores. Los enemigos naturales generalistas son apreciados por su resiliencia y en ocasiones son considerados la primera línea de defensa ante la ausencia de los enemigos naturales especialistas (Harwood et al., 2007). La atracción de otros grupos de importancia ecológica es importante para mejorar la estabilidad y resiliencia de los sistemas productivos (Altieri, 1999; Chappell & LaValle, 2011). De hecho, las franjas de flores pueden contribuir en la supresión simultánea de varias plagas en el cultivo, debido a la promoción de diversos grupos de enemigos naturales, especialistas y generalistas (Ribeiro & Gontijo, 2017).

Las diversas plantas que componen las franjas de flores están asociadas a una comunidad de insectos herbívoros que no necesariamente representan un riesgo para el cultivo (Balzan et al., 2014; Balzan & Moonen, 2014). En este estudio, la franja de flores aumentó la abundancia de insectos herbívoros en el borde, comparado con el control que consistía únicamente de pasto y algunas plantas arbustivas perennes. Los herbívoros más abundantes en el margen de flores fueron dos grupos de insectos chupadores, Miridae (64,72%) y Thysanoptera (20,34%), los cuales incluyen potencialmente especies plaga para el cultivo de hortalizas como *Lygus* spp. (Miridae) y *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera) (He et al., 2020). Balzan y Moonen (2014) reportaron un aumento de *Lygus* spp. y *Nezara viridula* (Linnaeus, 1758) (Penatomidae) en los márgenes de flores, sin embargo el daño provocado por estos insectos en los frutos de tomate (*S. lycopersicum*) fue menor cerca de los recursos florales, debido a una mayor atracción por parte de la franja de flores que por parte del cultivo. Holopainen y Hokkanen (2024) indican que las plantas de la familia Asteraceae, Brassicaceae y Fabaceae suelen ser muy atractivas para *Lygus*, por lo que podrían utilizarse para reducir la abundancia de esta plaga en el cultivo. Así mismo, la presencia de áfidos en los bordes de flores podría no significar un problema para el cultivo de cebollino. Los áfidos en el margen de flores incrementan la abundancia de ENA, debido a que actúan como hospederos presas/alternativos sin afectar negativamente al cultivo (Yang et al., 2022). De hecho, la disponibilidad de alimentos florales (polen y néctar) como de presas alternativas puede interactuar sinérgicamente para mejorar el control biológico (Ramsden et al., 2015). Los áfidos asociados a los recursos florales de este estudio también podrían tratarse de recursos alimenticios inocuos para el cultivo de cebollino. Primeramente, *N. formosana* es una especie oligófaga que se alimenta únicamente de ciertas especies de la familia Amaryllidaceae (Hori, 2007). Además, según las plantas hospederas de áfidos conocidas para Costa Rica (Coto et al., 1995; Voegtlin et al., 2024), la franja de flores podría atraer seis especies de áfidos (anexo 1), de los cuales solo *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) se encuentra relacionada a un cultivo de esta familia, la cebolla (*Allium cepa* L.). Sin embargo, algunas especies de plantas en el margen de flores podrían atraer otras especies de áfidos que se hospedan en otros cultivos de hortalizas. Se encontró que *B. napus*, *E. sativa* y *R. sativus* hospedaron áfidos *Brevycorine brassicae* L. en el borde con flores, esta especie de áfido está relacionada con cultivos de la familia Brassicaceae como repollo y brócoli. Además, especies

del género *Bidens* pueden hospedar a *Uroleucon ambrosiae* (Say, 1831), que afecta el cultivo de lechuga (anexo 8). A partir de este análisis, se sugiere comprobar las interacciones potenciales del borde de flores con áfidos y su efecto en el cultivo, especialmente si se desea implementar esta práctica ecológica en otros cultivos pertenecientes a otras familias. Además, se recomienda investigar con más detalle el rol de los insectos herbívoros en las franjas de flores, con el fin de aclarar las dudas sobre posibles riesgos de infestaciones por insectos plaga, e incluso problemas con malezas (Cordeau, Reboud & Chauvel, 2011; Uyttenbroeck et al., 2016).

En esta investigación la abundancia de áfidos en las plantas de cebollino se redujo un 70% en las parcelas con flores respecto a las parcelas sin flores. Un resultado similar fue reportado por Tsuchimi et al. (2016) con un 75% de reducción promedio de la densidad de áfidos en el cultivo de papa adyacente a las franjas de flores. El efecto de las prácticas de CBC se debe al aumento de las poblaciones de enemigos naturales (Landis et al., 2000). Sin embargo, el tratamiento sin flores obtuvo una mayor abundancia de ENA en las plantas de cebollino en el primer experimento, que el tratamiento con flores. En este caso, los enemigos naturales pudieron haber sido atraídos a las parcelas sin flores debido a la mayor abundancia de áfidos (Skirvin et al., 2011; Amiri-Jami & Sadeghi-Namaghi, 2014). En el segundo estudio la abundancia de ENA en las plantas de cebollino fue mayor en el tratamiento con flores, posiblemente debido a que la franja de flores estuvo fortaleciendo las poblaciones ENA durante el primer experimento, mejorando su respuesta.

El efecto positivo sobre el control de áfidos en las plantas de cebollino adyacentes a las franjas de flores fue consistente en los dos ensayos realizados. Se ha encontrado variabilidad en las poblaciones de áfidos cuando se evalúa por periodos prolongados, pero con una respuesta estable por parte de los enemigos naturales (Alignier et al., 2014). Por otro lado, Albrecht et al. (2021) indicaron que el servicio de control biológico no aumenta con los años. Sin embargo, la presencia o ausencia de enemigos naturales al inicio de la temporada ha sido identificada como un aspecto que determina las poblaciones de áfidos (Plantegenest et al., 2001). Precisamente, la efectividad del control biológico se ha atribuido, entre otras cosas, a la mejora de la respuesta temprana de los enemigos naturales que atacan las poblaciones

incipientes de las plagas. Estudios a largo plazo podrían esclarecer si existe una mejora en el control biológico conforme se fortalecen los enemigos naturales a través de los años (Toivonen, Huusela-Veistola & Herzon, 2018).

El seguimiento de la abundancia de áfidos después de su inoculación en cada tratamiento, sugiere que posiblemente existe una población de ENA establecida en el sitio de los experimentos, que ejerció un control sobre los áfidos a los 15 DDI, tanto en el tratamiento con flores y como en el tratamiento sin flores. Provocando que la población de áfidos en estos dos tratamientos se mantuviera relativamente baja respecto a la abundancia de áfidos en el tratamiento control. De hecho, la abundancia de áfidos en ausencia de los enemigos naturales fue superior a la parcela sin flores, con un factor de 17,81 (IC95%: 9,02, 42,52, $p < ,001$) en el primer experimento y 4,51 (IC95%: 3,93, 5,15, $p < ,001$) en el segundo experimento. Estos resultados demuestran la importancia del control natural que está asociado a agroecosistemas con alta biodiversidad. Los ecosistemas orgánicos, biodiversos, presentan una mayor reducción de la abundancia de áfidos en comparación con fincas convencionales con franjas de flores, esto debido a que el sistema productivo sostiene mejora la población de enemigos naturales (Török et al., 2021). Por otro lado, a pesar del control natural presente en el sitio del experimento, se registró una reducción de la abundancia de áfidos en la parcela con flores, desde los 22 DDI hasta 32 DDI, respecto a la parcela sin flores. Esto sugiere que efectivamente el CBC permite potenciar el control natural realizado por los enemigos naturales que ocurren en el agroecosistema. Posiblemente, el efecto de la franja de flores en un monocultivo con manejo convencional arroje resultados más contrastantes. Como los obtenidos por Gontijo et al. (2013) que registraron una reducción temprana de los áfidos a partir de la primer semana después de establecida los recursos florales.

CONCLUSIONES

Primeramente, se encontró evidencia de que las franjas de flores pueden promover las poblaciones de enemigos naturales de áfidos y potenciar el control natural de áfidos en las plantas de cebollino adyacentes. Estos resultados podrían ayudar a mejorar la aceptación, por parte de los productores, sobre el uso de plantas acompañantes al cultivo. De tal manera que de puerta al desarrollo de más investigaciones que respalden a esta práctica de CBC.

Además, los resultados mostraron que enriquecer el agroecosistema con plantas diversas en el borde del cultivo para enemigos naturales también puede promover otros grupos de insectos de importancia ecológica que brindan servicios ecosistémicos claves como la polinización. La mezcla de flores utilizada fue atractiva para abejas sin aguijón (*Meliponini*) y halictidos, ambos grupos valiosos para la polinización de cultivos de gran importancia económica como el tomate. Ante la actual crisis global por el declive de los polinizadores (Van der Sluijs et al., 2013), la aplicación de estas prácticas agrícolas, que proveen recursos y zonas de refugio para polinizadores, se vuelven indispensables y valiosas en términos de seguridad alimentaria y sostenibilidad.

Basados en los áfidos que potencialmente podrían habitar en las especies de plantas que componen la franja de flores, se sugiere que además de brindar recursos florales como polen y néctar, también proveen de presas/hospederos alternativos, indispensables para sostener las poblaciones de enemigos naturales en ausencia del cultivo (Haaland et al., 2011). Sin embargo, la aplicación de esta práctica en otros cultivos requiere verificar si los áfidos en el borde actúan como plagas potenciales o como recursos alimenticios complementarios para los enemigos naturales de la plaga objetivo.

Este estudio fue realizado en parcelas experimentales pequeñas por lo que los resultados no pueden extrapolarse a cultivos extensos, aunque si brindan un indicio positivo que puede motivar a su investigación y aplicación a mayor escala. Es conocido que la abundancia de enemigos naturales decrece con la distancia al borde de flores (Walton & Isaacs, 2011). Por lo es necesario evaluar el efecto del control a diferentes distancias de la franja de flores, lo

que puede resultar en recomendaciones para mejorar la dispersión de los enemigos naturales en el campo. Otros enfoques incluyen estudiar el servicio ecosistémico de la polinización, experimentar con mezclas de semillas para facilitar su implementación, calcular los costos de establecimiento y determinar variables importantes para la toma de decisiones relacionados a la rentabilidad, sostenibilidad y productividad del cultivo.

REFERENCIAS

Albrecht, M., Kleijn, D., Williams, N. M., Tschumi, M., Blaauw, B. R., Bommarco, R., Campbell, A. J., Dainese, M., Drummond, F. A., Entling, M. H., Ganser, D., Arjen De Groot, G., Goulson, D., Grab, H., Hamilton, H., Herzog, F., Isaacs, R., Jacot, K., Jeanneret, P., & Sutter, L. (2021). The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters*, *23*, 1488–1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>

Alignier, A., Raymond, L., Deconchat, M., Menozzi, P., Monteil, C., Sarthou, J.P., Vialatte, A., & Ouin, A. (2014) The effect of semi-natural habitats on aphids and their natural enemies across spatial and temporal scales. *Biological Control*, *77*, 76–82.

Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Ecosystems and Environment*, *74*, 19–31.

Amiri-Jami, A. R., & Sadeghi-Namaghi, H. (2014). Responses of *Episyrphus balteatus* DeGeer (Diptera: Syrphidae) in relation to prey density and predator size. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *17*(3), 207-211.

Balzan, M. V., Bocci, G., & Moonen, A. C. (2014). Augmenting flower trait diversity in wildflower strips to optimize the conservation of arthropod functional groups for multiple agroecosystem services. *Journal of Insect Conservation*, *18*(4), 713–728. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9680-2>

Balzan, M.V., & Moonen, A.C. (2014) Field margin vegetation enhances biological control and crop damage suppression from multiple pests in organic tomato fields. *Entomol Exp Appl* *150*:45–65

Balzan, M. V., Bocci, G., & Moonen, A. C. (2016). Utilization of plant functional diversity in wildflower strips for the delivery of multiple agroecosystem services. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 158(3), 304-319.

Bertalero, G., Addebito, P., Bancario, C. C., & Cliente, C. A. L. (2018). Perennial fallow strips support biological pest control in spring cereal in Northern Europe. *Biological Control*, 121, 109–118.

Bianchi, F.J.J.A., Booji, C.J.H. & Tscharntke, T. (2006) Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society of London*, 273: 1715–1727.

Branquart, E., & Hemptinne, J. L. (2000). Selectivity in the exploitation of floral resources by hoverflies (Diptera: Syrphinae). *Ecography*, 23(6), 732-742.

Brennan, E. B. (2016). Agronomy of strip intercropping broccoli with alyssum for biological control of aphids. *Biological Control*, 97, 109–119.

Campbell, A. J., Biesmeijer, J. C., Varma, V., & Wäckers, F. L. (2012). Realizing multiple ecosystem services based on the response of three beneficial insect groups to floral traits and trait diversity. *Basic and Applied Ecology*, 13(4), 363–370. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2012.04.003>

Chappell, M. J., & LaValle, L. A. (2011). Food security and biodiversity: can we have both? An agroecological analysis. *Agriculture and human values*, 28, 3-26.

Campbell, A. J., Wilby, A., Sutton, P., & Wäckers, F. (2017). Getting more power from your flowers: Multi-functional flower strips enhance pollinators and pest control agents in apple orchards. *Insects*, 8(3), 1–18. <https://doi.org/10.3390/insects8030101>

Cordeau, S., Reboud, X., & Chauvel, B. (2011). Farmers' fears and agro-economic evaluation of sown grass strips in France. *Agronomy for sustainable development*, *31*, 463-473.

Coto, D. T., Saunders, J. L., Vargas, C. L., & King, A. B. (1995). Plagas invertebradas de cultivos tropicales con énfasis en América Central: un inventario (No. 12). CATIE.

Dedryver, C. A., le Ralec, A., & Fabre, F. (2010). The conflicting relationships between aphids and men: A review of aphid damage and control strategies. *Comptes Rendus - Biologies*, *333*(6-7), 539-553. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.03.009>

Géneau, C. E., Wäckers, F. L., Luka, H., Daniel, C., & Balmer, O. (2012). Selective flowers to enhance biological control of cabbage pests by parasitoids. *Basic and Applied Ecology*, *13*(1), 85-93.

Gillespie, M., Wratten, S., Sedcole, R., & Colfer, R. (2011). Manipulating floral resources dispersion for hoverflies (Diptera: Syrphidae) in a California lettuce agroecosystem. *Biological Control*, *59*(2), 215-220. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.07.010>

Gontijo, L. M., Beers, E. H., & Snyder, W. E. (2013). Flowers promote aphid suppression in apple orchards. *Biological Control*, *66*(1), 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.03.007>

Gurr, G. M., Wratten, S. D., & Michael Luna, J. (2003). Multi-function agricultural biodiversity: Pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology*, *4*(2), 107-116. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00122>

Gurr, G. M., Wratten, S. D., & Altieri, M. A. (2004). Ecological engineering: a new direction for agricultural pest management. *Australian Farm Business Management Journal*, *1*(1), 28-35.

Haaland, C., Naisbit, R. E., & Bersier, L. F. (2011). Sown wildflower strips for insect conservation: a review. *Insect Conservation and Diversity*, 4(1), 60–80. <https://doi.org/10.1111/J.1752-4598.2010.00098.X>

Haslett, J. R. (1989). Adult feeding by holometabolous insects: Pollen and nectar as complementary nutrient sources for *Rhingia campestris* (Diptera: Syrphidae). *Oecologia*, 81(3), 361-363. <https://doi.org/10.1007/BF00377084>

Haenke, S., Scheid, B., Schaefer, M., Tschardtke, T., & Thies, C. (2009). Increasing syrphid fly diversity and density in sown flower strips within simple vs. complex landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 46(5), 1106-1114.

Harwood, J.D., Desneux, N., Yoo, H.J.S., Rowley, D.L., Greenstone, M.H., Obrycki, J.J., & O'Neil, R.J. (2007) Tracking the role of alternative prey in soybean aphid predation by *Orius insidiosus*: a molecular approach. *Mol Ecol* 16:4390–4400

He, Z., Guo, J. F., Reitz, S. R., Lei, Z. R., & Wu, S. Y. (2020). A global invasion by the thrip, *Frankliniella occidentalis*: Current virus vector status and its management. *Insect science*, 27(4), 626-645.

Hogg, B. N., Nelson, E. H., Mills, N. J., & Daane, K. M. (2011). Floral resources enhance aphid suppression by a hoverfly. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 141(2), 138–144. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2011.01174.x>

Holland, J.M., Oaten, H., Moreby, S., Birkett, T., Simper, J., Southway, S. & Smith, B.M. (2012) Agri-environment scheme enhancing ecosystem services: a demonstration of improved biological control in cereal crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 155, 147–152

Holopainen, J. K., & Hokkanen, H. M. (2024). Host plant and habitat preferences of Lygus bugs: consequences for trap cropping applications. *Arthropod-Plant Interactions*, 1-28.

Hori, M. (2007). Onion aphid (*Neotoxoptera formosana*) attractants, in the headspace of *Allium fistulosum* and *A. tuberosum* leaves. *Journal of Applied Entomology*, 131(1), 8-12.

Irvin, N. A., Wratten, S. D., Frampton, C. M., Bowie, M. H., Evans, A. M., & Moar, N. T. (1999). The phenology and pollen feeding of three hover fly (Diptera: Syrphidae) species in Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Zoology*, 26(2), 105-115. <https://doi.org/10.1080/03014223.1999.9518182>

Jervis, M. A., Lee, J. C., & Heimpel, G. E. (2004). Use of behavioural and life-history studies to understand the effects of habitat manipulation. In *Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods*; Gurr, G.M., Wratten, S.D. & Altieri, M.A. (Eds.). CSIRO Publishing: Collingwood, Australia, pp. 165–186.

Kim, C. Y., Khan, F., & Kim, Y. (2023). A push-pull strategy to control the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, using alarm and aggregation pheromones. *Plos one*, 18(2), e0279646.

Kowalska, J., Antkowiak, M., & Sienkiewicz, P. (2022). Flower strips and their ecological multifunctionality in agricultural fields. *Agriculture*, 12(9), 1470.

Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.*, 45, 175–201.

Macias-Macias, O., Chuc, J., Ancona-Xiu, P., Cauich, O., & Quezada-Euán, J. J. G. (2009). Contribution of native bees and Africanized honey bees (Hymenoptera: Apoidea) to Solanaceae crop pollination in tropical México. *Journal of Applied Entomology*, 133(6), 456-465.

Meléndez Ramírez, V., Ayala, R., & Delfín González, H. (2018). Crop pollination by stingless bees. *Pot-pollen in stingless bee melittology*, 139-153.

Mound, L. A. (2005). Thysanoptera: diversity and interactions. *Annu. Rev. Entomol.*, 50(1), 247-269.

Pascual-Villalobos, M. J., Lacasa, A., González, A., Varó, P., & García, M. J. (2006). Effect of flowering plant strips on aphid and syrphid populations in lettuce. *European Journal of Agronomy*, 24(2), 182–185. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.07.003>

Pineda, A., & Marcos-García, M. Á. (2008). Use of selected flowering plants in greenhouses to enhance aphidophagous hoverfly populations (Diptera: Syrphidae). *Annales de La Societe Entomologique de France*, 44(4), 487–492. <https://doi.org/10.1080/00379271.2008.10697584>

Plantegenest, M., Pierre, J. S., & Dedryver, C. A. (2001). Assessment of the relative impact of different natural enemies on population dynamics of the grain aphid. *Ecological Entomology*, 26, 404-410.

Pfiffner, L. & Wyss, E. (2004) Use of sown wildflower strips to enhance natural enemies of agricultural pests. *In: Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods*; Gurr, G.M., Wratten, S.D., Altieri, M.A., Eds.; CSIRO Publishing: Collingwood, Australia, pp. 165–186.

Ramsden, M.W., Menendez, R., Leather, S.R. & Wäckers, F. (2015). Optimizing field margins for biocontrol services: the relative role of aphid abundance, annual floral resources, and overwinter habitat in enhancing aphid natural enemies. *Agric Ecosyst Environ* 199:94–104

Ribeiro, A. L., & Gontijo, L. M. (2017). Alyssum flowers promote biological control of collard pests. *BioControl*, 62(2), 185–196. <https://doi.org/10.1007/s10526-016-9783-7>

Roubik, D. W., & Moreno Patiño, J. E. (2018). The stingless honey bees (Apidae, Apinae: Meliponini) in Panama and pollination ecology from pollen analysis. *Pot-pollen in stingless bee melittology*, 47-66.

Sánchez, M. V., Agüero, R., & Rivera, C. (2001). Plantas hospederas de *Aphis gossypii* (Aphididae), vector de virus del melón *Cucumis melo* (Cucurbitaceae) en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49(1), 305–311.
http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442001000100029&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Skirvin, D. J., Kravar-Garde, L., Reynolds, K., Wright, C., & Mead, A. (2011). The effect of within-crop habitat manipulations on the conservation biological control of aphids in field-grown lettuce. *Bulletin of Entomological Research*, 101(06), 623–631.
<http://dx.doi.org/10.1017/S0007485310000659>

Staton, T., Walters, R., Smith, J., Breeze, T., & Girling, R. (2021). Management to Promote Flowering Understoreys Benefits Natural Enemy Diversity, Aphid Suppression and Income in an Agroforestry System. *Agronomy*, 11(4), 651.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11040651>

Su, W., Ouyang, F., Li, Z., Yuan, Y., Yang, Q., & Ge, F. (2023). *Cnidium monnieri* (L.) Cusson Flower as a Supplementary Food Promoting the Development and Reproduction of Ladybeetles *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae). *Plants*, 12(9).
<https://doi.org/10.3390/plants12091786>

Tiwari, S., Sharma, S., & Wratten, S. D. (2020). Flowering alyssum (*Lobularia maritima*) promote arthropod diversity and biological control of *Myzus persicae*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(3), 634-640.

Toivonen, M., Huusela-Veistola, E., & Herzon, I. (2018). Perennial fallow strips support biological pest control in spring cereal in Northern Europe. *Biological Control*, *121*, 109-118.

Török, E., Zieger, S., Rosenthal, J., Földesi, R., Gallé, R., Tschardtke, T., & Batáry, P. (2021). Organic farming supports lower pest infestation, but fewer natural enemies than flower strips. *Journal of Applied Ecology*, *58*(10), 2277-2286.

Tylianakis, J. M., Didham, R. K., & Wratten, S. D. (2004). Improved fitness of aphid parasitoids receiving resource subsidies. *Ecology*, *85*(3), 658-666.

Tschardtke, T., Steffan-Dewenter, I., Kruess, A., & Thies, C. (2002). Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland–cropland landscapes. *Ecological applications*, *12*(2), 354-363.

Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H., & Jacot, K. (2014). Targeted flower strips effectively promote natural enemies of aphids. *Landscape Management for Functional Biodiversity IOBC-WPRS Bulletin*, *100*(May), 131–135.

Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H., & Jacot, K. (2015). High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *282*(1814), 20151369.

Tschumi, M., Albrecht, M., Collatz, J., Dubsky, V., Entling, M. H., Najar-Rodriguez, A. J., & Jacot, K. (2016). Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *Journal of Applied Ecology*, *53*(4), 1169–1176. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12653>

Uyttenbroeck, R., Hatt, S., Paul, A., Boeraeve, F., Piqueray, J., Francis, F., Danthine, S., Frederich, M., Dufrene, M., Bodson, B., & Monty, A. (2016). Pros and cons of flowers strips

for farmers. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 20(S1). 225-235.

Van der Sluijs, J.P., Simon-Delso, N., Goulson, D., Maxim, L., Bonmatin, J.M., & Belzunces, L.P. (2013) Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5, 293–305.

Van Rijn, P. C. J., Kooijman, J., & Wäckers, F. L. (2013). The contribution of floral resources and honeydew to the performance of predatory hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Biological Control*, 67(1), 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.06.014>

Van Rijn, P. C. J., & Wäckers, F. L. (2016). Nectar accessibility determines fitness, flower choice and abundance of hoverflies that provide natural pest control. *Journal of Applied Ecology*, 53(3), 925–933. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12605>

Vasicek, A., La Rossa, F. R., López, C., Mendy, P., & Paglioni, A. (2005). Evaluación de los Parámetros Biológicos y Poblacionales de *Neotoxoptera formosana* (Takahashi)(Hemiptera: Aphidoidea) sobre tres Alliaceae hortícolas en condiciones de laboratorio. *Bol. San. Veg. Plagas*, 31, 225-230

Voegtlin, D., Villalobos, W., Sánchez, M. V., Saborío, G., & Rivera, C. (2003). Guía de los áfidos alados (Homoptera) de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 51(S2), 1-214.

Wäckers, F.L., & van Rijn, P.C.J. (2012) Pick and mix: Selecting flowering plants to meet the requirements of target biological control insects. In: Gurr, G.M., Wratten, S.D., Snyder, W.E., & Read, D.M.Y. (eds). *Biodiversity and Insect Pests: Key Issues for Sustainable Management*. pp. 139–165.

Walton, N. J., & Isaacs, R. (2011). Influence of native flowering plant strips on natural enemies and Herbivores in adjacent blueberry fields. *Environmental Entomology*, 40(3), 697–705. <https://doi.org/10.1603/EN10288>

Webster, B. E. N. (2012). The role of olfaction in aphid host location. *Physiological Entomology*, 37(1), 10-18.

Yang, Q., Li, Z., Ouyang, F., Men, X., Zhang, K., Liu, M., Guo, W., Zhu, C., Zhao, W., Reddy, G. V. P., & Ge, F. (2022). Flower strips promote natural enemies, provide efficient aphid biocontrol, and reduce insecticide requirement in cotton crops. *Entomol. Gen*, 43, 421-432.

Zhang, L., Zhang, H., Zhang, K., Qin, Y., Yang, M., & Liu, J. (2024). Understanding the onion aphid *Neotoxoptera formosana*'s (Hemiptera: Aphididae) interaction with *Allium* (Asparagales: Amaryllidaceae) crops: a comprehensive study of feeding patterns and life history traits. *Journal of Economic Entomology*, 117(2), 500-507.

Zhong, J., Pan, W., Jiang, S., Hu, Y., Yang, G., Zhang, K., Zhenyuan, X., Guantil, X., & Chen, B. (2024). Evaluating the impact of alyssum flower strips on biological control of key pests in flue-cured tobacco agroecosystems. *Journal of Applied Entomology*, 148(10), 1245-1260.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Existe una población local de enemigos naturales de áfidos que visitaron los recursos florísticos, compuesta por 10 especies de sírfidos afidófagos (Syrphidae), ocho especies de coccinellidos (Coccinellidae) y dos especies de avispas parasitoides (Braconidae: Aphidini), que puede ser manejada mediante estrategias de control biológico por conservación con el fin de reducir las poblaciones de estos insectos herbívoros.
2. Las sírfidos afidófagos utilizan los recursos florísticos de manera selectiva. Las especies de *Allograpta* prefirieron las flores de *A. graveolens*, *B. napus*, *E. sativa* y *L. maritima*. Mientras que *Toxomerus* CR-3 prefirió las flores de *L. maritima* y *C. sativum*.
3. Los coccinélidos, al igual que los sírfidos adultos, se benefician de la presencia de recursos florales, estos enemigos naturales fueron más abundantes en las flores de *A. graveolens*, *B. alba*, *B. napus* y *E. sativa*.
4. Debido al uso selectivo de recursos florales por parte de las diferentes especies de enemigos naturales, las plantas acompañantes en los cultivos pueden elegirse de manera específica para favorecer la presencia de especies de enemigos naturales vinculadas a las plagas de cada cultivo.
5. La presencia áfidos tuvo un efecto positivo en la visitación floral de *Allograpta* spp. con un factor de 2,05 (IC95%: 1,68, 2,48, $P < ,001$) y en la abundancia de coccinélidos con un factor de 21,12 (IC95%: 6,88, 79,04, $P < ,001$). Los recursos florales también brindan presas/hospederos alternativos, que constituyen un recurso valioso para mantener las poblaciones de enemigos naturales en ausencia del cultivo.
6. Los recursos florísticos dirigidos a enemigos naturales también son atractivos para varios grupos de polinizadores claves en la región como, *Bombus* (Apidae: Bombini), abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) y halictidos (Halictidae). De tal manera que estos recursos pueden ser usados no solo para mejorar el control de plagas, sino que

también pueden constituir hábitats para polinizadores que mejoren la polinización de los cultivos y aporten a la conservación de la biodiversidad en los agroecosistemas.

7. Cada recurso florístico cuenta con una fenología y periodo de floración diferente; *A. graveolens* florece por 3,9 meses, *L. maritima* por 4,1 meses, *F. esculentum* y *B. alba* por 2 meses, *E. sativa* y *B. napus* por 1,7 meses y *R. sativus* por 1,5 meses. Por lo tanto, se pueden ajustar los momentos de siembra de tal manera que exista una oferta continua de néctar y polen para los enemigos naturales, alineada con las necesidades del cultivo.
8. La densidad floral de los recursos florísticos fue diferente, sin embargo este factor no afectó la visitación floral de los sírfidos afidófagos, ni la abundancia de coccinélidos.
9. Los resultados mostraron que las franjas de flores en el borde del cultivo contribuyeron al aumento de la abundancia de enemigos naturales de áfidos (ENA) en el borde en un 858% y a la reducción de áfidos en las plantas de cebollino adyacentes en un 70%.
10. La gran diferencia en la población de áfidos en las plantas de cebollino en el tratamiento control, en ausencia de enemigos respecto al tratamiento sin flores (con un factor de 17,81 (IC95%: 9,02, 42,52, $p < ,001$) en el primer experimento y 4,51 (IC95%: 3,93, 5,15, $p < ,001$) en el segundo experimento), demuestra que existe un control natural de áfidos en el sitio del experimento. Por lo que, la franja de flores potenció el control natural, logrando reducir en un 70% más la abundancia de áfidos.
11. Es necesario investigar con más detalle el rol de los insectos herbívoros en las franjas de flores, con el fin de aclarar dudas sobre el riesgo de promoción de plagas que afecten el cultivo.

ANEXOS

Anexo 1. Datos de siembra de recursos florísticos en la franja de flores al borde del cultivo en las parcelas experimentales.

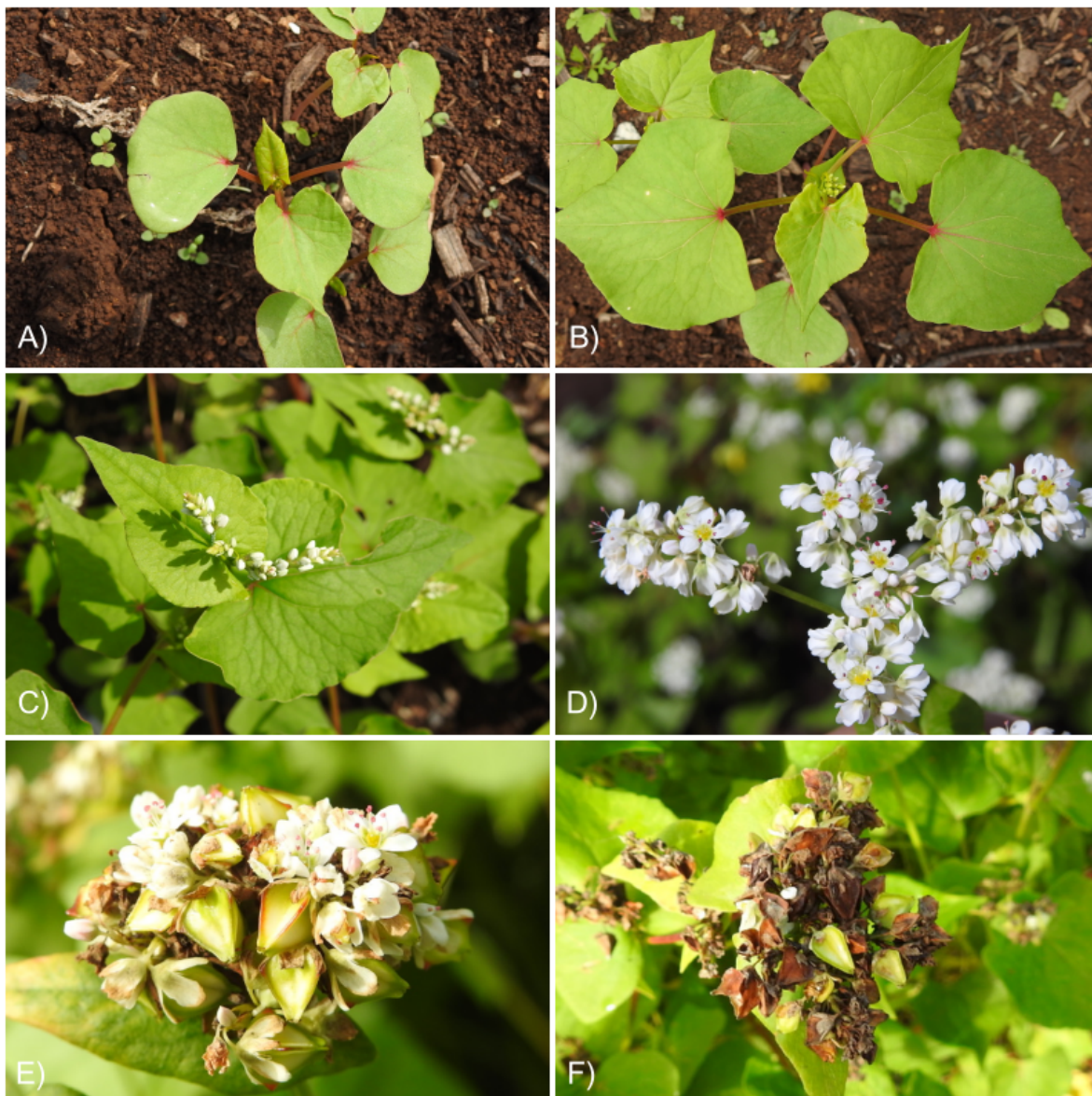
Espece de recursos florístico	Siembra	Distancia entre plantas	N. Hileras	Distancia entre hileras	Densidad (Plantas/m ²)	Preparación
<i>Ocimum kilimandscharicum</i>	Bolsa	50 cm	2	50 cm	4	B
<i>Lobularia maritima</i>	Almácigo	25 cm	3	25 cm	12	B
<i>Eruca sativa</i>	Almácigo	25 cm	3	25 cm	12	B
<i>Coriandrum sativum</i>	Semilla	1-3cm	*	25 cm	133	A
<i>Anethum graveolens</i>	Almácigo	25 cm	3	25 cm	12	B
<i>Fagopyrum esculentum</i>	Semilla	1-3cm	*	25 cm	133	A
<i>Brassica napus</i>	Almácigo	25 cm	3	25 cm	12	B
<i>Raphanus sativus</i>	Semilla	1-3cm	*	30 cm	166	A
<i>Bidens alba</i>	Almácigo	25 cm	4	25 cm	12	B

A: Se marcó un surco y se distribuyó una cantidad moderada de semilla a lo largo del surco, se tapó con tierra o abono.

B: Se marcó el punto de siembra en “pata de gallo” de tal manera que las plantas entre hileras quedaron intercaladas, se realizó un hoyo, se sembró el almácigo o planta y se abonó.

Anexo 2. Abundancia de abejas nativas en los recursos florísticos capturados en trampas amarillas, en el estudio 1 (2022) y estudio 2 (2023). AG: *Anethum graveolens*; ES: *Eruca sativa*; FE: *Fagopyrum esculentum*; LM: *Lobularia maritima*; OK: *Ocimum kilimandscharicum*; CS: *Coriandrum sativum*; BA: *Bidens alba*; BR: *Brassica rapa*; RS: *Raphanus sativus*.

Abejas nativas	AG		ES		FE		LM		OK		CS		BA		BR		RS	
2022	17	%	51	%	44	%	30	%	29	%	31	%	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ANDRENIDAE																		
<i>Calliopsis</i>	0	0,00	0	0,00	1	2,27	0	0,00	0	0,00	0	0,00	-	-	-	-	-	-
<i>Protadrena</i>	1	5,88	2	3,92	5	11,36	1	3,33	2	6,9	1	3,23	-	-	-	-	-	-
APIDAE																		
<i>Ceratina</i>	0	0,00	3	5,88	4	9,09	0	0,00	1	3,45	0	0,00	-	-	-	-	-	-
<i>Geotrigona lutzi</i>	0	0,00	0	0,00	1	2,27	0	0,00	1	3,45	1	3,23	-	-	-	-	-	-
<i>Partamona orizabaensis</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3,23	-	-	-	-	-	-
<i>Trigona corvina</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3,33	2	6,9	4	12,9	-	-	-	-	-	-
COLLETIDAE																		
<i>Hylaeus</i>	0	0,00	1	1,96	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	-	-	-	-	-	-
HALICTIDAE																		
<i>Augochlora</i>	0	0,00	4	7,84	1	2,27	0	0,00	3	10,3	0	0,00	-	-	-	-	-	-
<i>Augochlorella</i>	0	0,00	0	0,00	1	2,27	0	0,00	1	3,45	0	0,00	-	-	-	-	-	-
<i>Augochlorini</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3,23	-	-	-	-	-	-
<i>Lasioglossum</i>	16	94,12	43	84,31	33	75,00	26	86,67	22	75,9	24	77,4	-	-	-	-	-	-
<i>Neocorynura</i>	0	0,00	1	1,96	0	0,00	1	3,33	0	0,00	4	12,9	-	-	-	-	-	-
<i>Sphcodes</i>	0	0,00	0	0,00	3	6,82	2	6,67	1	3,45	1	3,23	-	-	-	-	-	-
2023	4	%	4	%	11	%	29	%	NA	NA	12	%	16	%	18	%	18	%
ANDRENIDAE																		
<i>Protandrena</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3,45	-	-	-	-	1	8,33	0	0,00	0	0,00
APIDAE																		
<i>Exomalopsis</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	-	-	-	-	1	8,33	0	0,00	0	0,00
<i>Geotrigona lutzi</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3,48	-	-	-	-	0	0,00	0	0,00	2	11,11
<i>Partamona orizabaensis</i>	1	25,00	1	25,00	1	9,09	4	13,79	-	-	-	-	3	25	9	56,3	4	22,22
<i>Scaptotrigona subobscuripennis</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	-	-	-	-	0	0,00	0	0,00	1	5,56
<i>Trigona corvina</i>	1	25,00	0	0,00	6	54,55	0	0,00	-	-	-	-	0	0,00	0	0,00	4	22,22
HALICTIDAE																		
<i>Augochlora</i>	0	0,00	1	25,00	1	9,09	0	0,00	-	-	-	-	1	8,33	0	0,00	0	0,00
<i>Augochlorella</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	-	-	-	-	2	16,7	0	0,00	1	5,56
<i>Lasioglossum</i>	2	50,00	2	50,00	1	9,09	18	62,06	-	-	-	-	4	33,3	0	0,00	5	27,18
<i>Neocorynura</i>	0	0,00	0	0,00	2	18,18	5	17,24	-	-	-	-	0	0,00	7	43,8	1	5,56



Anexo 3. Etapas fenológicas del trigo sarraceno, *Fagopyrum esculentum* (Apocynaceae).
A) Plántula con dos hojas verdaderas (5-8 DDS) ; B y C) inicio de floración (16-30 DDS);
D) floración; E) floración-fructificación; F) producción de semilla.



Anexo 4. Etapas fenológicas del moriseco, *Bidens alba* (Asteraceae). A) Plántula con dos hojas verdaderas ; B) vegetativo; C y D) inicio de floración; E) floración; F) producción de semilla.



Anexo 5. Etapas fenológicas del mostaza criolla, *Brassica rapa* (Brassicaceae). A) Plántula con dos hojas verdaderas; B y C) vegetativo; D) inicio de floración; E) floración-fructificación; F) producción de semilla.



Anexo 6. Etapas fenológicas del nabo blanco, *Raphanus sativus* (Brassicaceae). A) Plántula con dos hojas verdaderas; B) vegetativo; C) inicio de floración; D y E) floración-fructificación; F) producción de semilla.



Anexo 7. Etapas fenológicas del culantro, *Coriandrum sativum* y eneldo *Anethum graveolens* (Apiaceae). Plántula con dos hojas verdaderas de culantro (A) y eneldo (B), inicio de floración de culantro (C) y eneldo (D) y floración de culantro (E) y eneldo (F).

Anexo 8. Interacciones potenciales entre las plantas de la franja de flores, áfidos y cultivos de hortalizas. Las líneas conectan la planta del borde de flores con la especie de pulgón, y a estos con cultivos de hortalizas. En azul la interacción potencial con áfidos que pueden afectar a cultivo de cebollino. Fuentes: Coto et al., 1995; Voegtlin et al. 2024.

