

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**CUBIERTAS: EFECTOS SOBRE LA ARTROPOFAUNA AGRICOLA.**

**POR**

**JORGE CLEMAN ESTEBAN VEGA RODRÍGUEZ**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CHILLÁN – CHILE  
2024**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CUBIERTAS: EFECTOS SOBRE LA ARTROPOFAUNA AGRÍCOLA.**

**POR**

**JORGE CLEMAN ESTEBAN VEGA RODRÍGUEZ**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CHILLÁN – CHILE  
2024**

Aprobada por:

Profesor Asociado, Gonzalo Silva A.  
Ing. Agrónomo Mg. Sc. Dr. Cs.

---

Guía

Profesor Asociado, Richard Bastías I.  
Ing. Agrónomo Mg. Sc. PhD.

---

Asesor

Profesor Asistente, Marcela Rodríguez G.  
Ing. Agrónomo, Mg. Sc. Dr. Cs.

---

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.  
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>Página</b>
Resumen.....	1
Summary.....	1
Introducción.....	2
Desarrollo y discusión.....	5
Conclusiones.....	31
Referencias.....	31
Apéndice.....	45

**ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS**

		<b>Página</b>
Tabla 1	Efecto de distintos tipos de malla en la velocidad del viento, temperatura y humedad del aire, y luz PAR.	13
Figura 1	Número de estudios y efectos (positivos, negativos o neutros) de mallas reportados en polinizadores, enemigos naturales y plagas.	30

## **CUBIERTAS: EFECTOS SOBRE LA ARTROPOFAUNA AGRICOLA.**

NET COVERS: EFFECTS ON AGRICULTURAL ARTHROPOFAUNA.

**Palabras índice adicionales: coberturas, polinizantes, plagas, enemigos naturales.**

### **RESUMEN**

En el último tiempo, la utilización de mallas agrícolas ha aumentado significativamente a nivel mundial como una estrategia de protección de los cultivos frente a problemas bióticos y abióticos, que pueden estar influenciados por el cambio climático, amenazando la productividad de los cultivos y con ello la seguridad alimentaria. Además de la protección física que ofrecen las mallas a la lluvia o granizo, las variaciones microclimáticas que provocan, en temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y luz, pueden ser propicias para el crecimiento de las plantas y mejorar la calidad, uniformidad y productividad de los cultivos. Paralelamente, las mallas pueden actuar como una barrera mecánica, impidiendo la entrada o salida de artrópodos, o generando repercusiones en la actividad y distribución de la artropofauna a causa de los cambios microclimáticos bajo cubiertas. Hasta la fecha existe una cantidad importante de estudios que se relacionan con el uso de mallas, pero los que han abordado los efectos sobre la artropofauna o el comportamiento de los insectos aún son escasos, y a menudo con resultados contradictorios. Por ello, el objetivo de la presente monografía fue revisar y analizar información acerca de las cubiertas de malla, los cambios que éstas producen en las variables microclimáticas y sus efectos en el comportamiento, preferencia y presencia de insectos plaga, además de controladores biológicos y polinizadores.

### **SUMMARY**

In recent years, the use of netting has increased significantly worldwide as a strategy

to protect crops from biotic and abiotic constraints, many of which may be influenced by climate change, threatening crop productivity and thus food security. In addition to the physical protection that nets provide against rain or hail, the microclimatic variations caused by covers in temperature, relative humidity, wind speed and light can favor plant growth and improve crop quality, uniformity, and productivity. At the same time, protective nets can also act as a mechanical barrier by preventing the entry or exit of arthropods, or by influencing the activity and distribution of the arthropod fauna through the microclimatic changes occurring under covers. Although there is a significant number of studies related to the use of netting systems, those addressing the effects on arthropofauna or insect behavior are still scarce and often present contradictory results. Therefore, the aim of the present monograph was to collect and analyze information about netting, the changes they produce in microclimatic variables and how they impact the behavior, preference and presence of pest insects, biological controllers and pollinators.

## **INTRODUCCIÓN**

El cambio climático a nivel global es un problema ambiental complejo y se prevé que el clima seguirá cambiado en las próximas décadas (Guo *et al.*, 2022). En relación a esto, el bienestar del ser humano ha estado continuamente relacionado con la agricultura; sin embargo, debido a la fragilidad de ésta y a su dependencia de las condiciones climáticas, la sostenibilidad de la producción se ha visto drásticamente afectada (Mu *et al.*, 2017). Por otra parte, el ritmo exponencial de crecimiento de la población mundial durante el último siglo (United Nations, 2017), ha ejercido una presión cada vez mayor sobre la agricultura por lo que su producción ha tenido que aumentar significativamente para alimentar a la creciente población (Mukherjee *et al.*, 2019).

La protección de los cultivos contra las adversidades ambientales se ha basado tradicionalmente en tecnologías de invernadero. Sin embargo, durante la última década el uso de mallas agrícolas como medio de protección se ha expandido significativamente como una forma de adaptación y mitigación de varios problemas bióticos y abióticos que amenazan la producción de los cultivos (Manja y Aoun,

2019; Giannoulis *et al.*, 2021). La incorporación de distintas cubiertas genera una barrera de protección frente a plagas como insectos o aves, granizo o lluvia y al mismo tiempo modifica variables microclimáticas como la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y variables relacionadas con la intensidad y calidad de la luz, entre otros (Mditshwaa *et al.*, 2019; Yáñez, 2020).

Existen diferentes tipos de redes o mallas utilizadas en la industria frutícola, entre las que se incluyen mallas antigranizo, mallas sombra, donde se encuentran las fotoselectivas, y mallas de exclusión, a prueba de insectos o mosquiteros, entre otras (Mditshwa *et al.*, 2019). Estas en general son fabricadas con polietileno de alta densidad (HDPE) (Mukherjee *et al.*, 2019) y se utilizan en condiciones de campo abierto, particularmente en árboles frutales y configuradas e instaladas de distintas formas, según sea el tipo de malla y objetivo de instalación (Manja y Aoun, 2019).

La capacidad de las cubiertas para modificar el microclima puede mejorar la calidad, uniformidad y productividad de los cultivos que crecen bajo ellas (Manja y Aoun, 2019). La manipulación de la cantidad y calidad de luz crean un microambiente propicio para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Mditshwaa *et al.*, 2019), debido a que el atenuar la radiación solar excesiva y mejorar la dispersión de la luz produce un mayor aprovechamiento de ésta en el dosel, un aumento en las tasas fotosintéticas al reducir la fotoinhibición (Lulane *et al.*, 2022) y la protección de la fruta ante el daño por quemaduras solares (Kalcsits *et al.*, 2017). A su vez, el uso de mallas fotoselectivas permite filtrar longitudes de onda específicas pudiéndose obtener distintas respuestas fisiológicas en las plantas (Zoratti *et al.*, 2015). En relación a otros factores ambientales como la velocidad del viento, humedad relativa, temperatura ambiental y del suelo, se ha visto que a excepción de la humedad relativa en general tienden a disminuir (Mditshwaa *et al.*, 2019). Lo anterior se ha comprobado principalmente en huertos de manzanos, donde además se han descrito otros beneficios del uso de cubiertas, como la reducción de los costos de riego debido a una menor pérdida de agua del suelo y a los cambios en los factores ambientales mencionados (Mupambi *et al.*, 2018).

En relación al efecto de las distintas cubiertas sobre la fauna, independientemente del tipo, estas funcionan como una barrera mecánica que

detiene el paso de insectos, aves y murciélagos, siendo las mallas de exclusión las que tienen un efecto más pronunciado (Yáñez, 2020). Sumado a esto se ha reportado que el uso de mallas diseñadas para mejorar la producción, pueden interferir con la capacidad de los insectos para visualizar sus plantas hospederas y de diferenciarlas de su entorno (Ben-Yakir *et al.*, 2012), ya que estas reducen la intensidad de luz y/o filtran longitudes de onda útiles para la visión de los insectos (Antignus, 2000; Ben-Yakir *et al.*, 2012; Ilic y Fallik, 2017).

La visión y el olfato son las dos señales principales que utilizan los insectos para orientarse en dirección a sus plantas hospederas (Antignus, 2000). Los fotoreceptores oculares capturan información sobre un gran ancho de banda de radiación electromagnética: UV (100-400 nm), radiación visible o fotosintéticamente activa (PAR, 400-700 nm) y rojo lejano (700-800 nm) (Díaz y Fereres, 2007). Específicamente, las células fotoreceptoras presentes en muchos insectos muestran sensibilidades máximas en las regiones de longitud de onda UV, azul y verde (Shimoda y Honda, 2013; van der Kooi *et al.*, 2021; Yáñez *et al.*, 2021). De éstos, el espectro UV es particularmente importante para la orientación, navegación, alimentación e interacción sexual de muchas especies de insectos, debido a que los ojos de ellos son muy sensibles a la radiación ultravioleta (Shimoda y Honda, 2013). Morandin *et al.*, (2002) reportaron en abejas melíferas sensibilidades de cuatro a seis veces más altas del espectro UV frente a otros espectros. Por tanto, un déficit de luz ultravioleta en el ambiente puede afectar el comportamiento de los insectos y como resultado impedir su orientación dentro de los cultivos disminuyendo su actividad de vuelo y capacidad de dispersión (Miranda *et al.*, 2015). Existen investigaciones que demuestran que cuando se les da a elegir un espacio con radiación ultravioleta y otro sin esta, muchas especies de insectos evitan este último, lo que ha resultado beneficioso para reducir poblaciones de artrópodos dañinos. Sin embargo, esto también representa un inconveniente para insectos benéficos como polinizadores y agentes de control biológico, por lo que debe aplicarse con precaución (Shimoda y Honda, 2013; Mukherjee *et al.*, 2019).

En cuanto a las temperaturas, las tasas reproductivas y el metabolismo de los artrópodos suelen ser más altos en condiciones cálidas, lo que posiblemente

conduce a mayores densidades o niveles de actividad de los insectos en sistemas protegidos. Por otra parte, el impacto de la humedad en la presencia de invertebrados es menos claro, pero los desequilibrios en la humedad relativa pueden alterar los equilibrios hídricos in vivo y provocar densidades poblacionales más reducidas (Willden *et al.*, 2022).

Dados estos antecedentes, el objetivo de la presente monografía fue realizar un análisis crítico acerca de las cubiertas agrícolas, los cambios que estas producen en las condiciones microclimáticas y como repercuten en el comportamiento, preferencia y presencia de insectos plaga y benéficos.

## **DESARROLLO Y DISCUSIÓN**

### **Capítulo 1. Cambio climático, seguridad alimentaria y uso de mallas**

El cambio climático actualmente y a nivel global es el problema ambiental más complejo y afecta a casi todos los sectores de la economía (Karki *et al.*, 2020). Este fenómeno se puede definir como “las variaciones que sufre el clima de la Tierra, ya sea por causas naturales o acciones humanas que afectan la variabilidad de parámetros climáticos como la temperatura, lluvia y sequía” (Gan *et al.*, 2016) y se manifiesta mediante eventos climatológicos intensos y extremos, como inundaciones, ciclones, tornados, incendios forestales, lluvias torrenciales con mayor frecuencia, periodos prolongados de sequía, olas de calor, inviernos más cálidos y húmedos con menos nieve y vientos de alta velocidad (Skendžić *et al.*, 2021; Awuni *et al.*, 2023).

Entre las causas del cambio climático la que se considera más importante es el aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) hacia la atmósfera (Gao *et al.*, 2022). Estos gases provienen de diversas actividades antropogénicas, incluida la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de la tierra (Skendžić *et al.*, 2021), así como por la tala de bosques y la cría de ganado (Awuni *et al.*, 2023). Lo anterior ha tenido como resultado el aumento de la temperatura atmosférica y la contribución a los fenómenos de calentamiento global y cambio climático. De hecho, se estima

que a finales de siglo las temperaturas superficiales podrían aumentar en hasta 4,8°C (Gao *et al.*, 2022).

El cambio climático es omnipresente y sus impactos se observan en todo el mundo. En este sentido, los sistemas agrícolas y en particular la agricultura son sectores que se prevé enfrentarán la peor parte del cambio climático (Karki *et al.*, 2020) puesto que son actividades que dependen en gran medida del clima y de ciertas condiciones propicias para producir alimentos y otros bienes necesarios para satisfacer las necesidades humanas (Skendžić *et al.*, 2021). Lo anterior las vuelve vulnerables a las variaciones del clima y su producción se puede ver afectada por los impactos del cambio climático (Karki *et al.*, 2020). Mirzabaev *et al.*, (2023), señalan que el cambio climático es capaz de reducir la productividad de los cultivos, la ganadería, la pesca y la acuicultura al modular la disponibilidad y la calidad del agua, causar estrés por calor, cambiar la fenología y alterar el entorno de plagas y enfermedades. En el caso de los cultivos se ha reportado que el aumento de las temperaturas puede acelerar la fenología y acortar los ciclos de crecimiento, disminuyendo la biomasa total y rendimiento. Además, acelera el agotamiento del agua en el suelo debido al aumento en las tasas de evapotranspiración, generando un estrés hídrico que limita el potencial de rendimiento (Wu *et al.*, 2023; Fei *et al.*, 2023). Por otra parte, debido a los límites fisiológicos de cada especie, el aumento de las temperaturas puede modificar o limitar la abundancia y distribución geográfica de los cultivos (Skendžić *et al.*, 2021). En el caso de la ganadería y pesca aunque los impactos del cambio climático son menos estudiados que para los cultivos (Godde *et al.*, 2021), existen estudios que coinciden en que la mayor frecuencia de olas de calor y sequías ocasionan reducciones en la productividad y reproducción del ganado debido al estrés por calor, supresión del apetito, alteración de la fertilidad, menor disponibilidad de forraje, el aumento de la escasez de agua y la propagación de enfermedades (Rojas-Downing *et al.*, 2017). Por otro lado, fenómenos extremos como inundaciones o marejadas pueden interrumpir las cadenas de suministro de alimentos por la pérdida de las cosechas y daños en la infraestructura de los sistemas productivos (Cottrell *et al.*, 2019).

Todos estos factores han ido reduciendo la capacidad de los sistemas alimentarios y el desarrollo agrícola sostenible, ya que el cambio climático no es solo un fenómeno ambiental, sino que también tiene profundas consecuencias económicas y sociales, en especial en países en vías de desarrollo y poblaciones vulnerables, que a menudo viven en la pobreza (Orduño *et al.*, 2020; Jiménez *et al.*, 2023), puesto que tres cuartas partes de ellas dependen en gran medida de actividades basadas en la naturaleza y en particular de la agricultura (Awuni *et al.*, 2023).

En este contexto, la producción mundial de alimentos y la seguridad alimentaria se encuentran gravemente amenazadas, puesto que otros factores como el crecimiento exponencial de la población mundial han ido ejerciendo una presión cada vez mayor sobre los recursos naturales en las últimas décadas, junto con un aumento en la demanda de alimentos, principalmente en países en desarrollo (Mukherjee *et al.*, 2019; Diabate *et al.*, 2021). Hasta ahora el aumento en la producción de alimentos se ha conseguido a través de tres medios: ampliar la superficie cultivada, aumentar la intensidad de los cultivos e incrementar los rendimientos; siendo el último el más importante representando el 77% del crecimiento de la producción agrícola entre 1961 y 2007 (FAO, 2012). Además, se considera el enfoque más sostenible ya que expandir el área cultivada tiene implicancias ambientales y con el futuro uso urbano o industrial de los suelos, es probable que una mayor expansión sea marginal con suelos de baja calidad (Mukherjee *et al.*, 2019; Skendžić *et al.*, 2021). Sin embargo, las proyecciones parecen sugerir que la producción de alimentos será un desafío en las próximas décadas, debido a que se espera un aumento en la demanda de alimentos de un 60% para el 2050 (Wu *et al.*, 2023), lo que puede comprometer el acceso físico, social, económico y permanente de las personas a suficientes alimentos inocuos y nutritivos que satisfagan sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias para una vida activa y saludable (Mirzabaev *et al.*, 2023). Por tanto, se deben generar respuestas que permitan minimizar el impacto de un clima que cambia constantemente (Guo *et al.*, 2022) y garantizar que la productividad agrícola y la

seguridad alimentaria no se vean comprometidas en el largo plazo (Acquah y Onumah, 2011; Jiménez *et al.*, 2023).

En relación a las acciones o medidas que se pueden tomar ante el cambio climático, estas se clasifican en dos. Por una parte, se encuentran las de mitigación que se orientan en frenar o moderar el ritmo del cambio climático mediante la disminución en las emisiones de GEI a la atmósfera (Awuni *et al.*, 2023), donde las medidas que se tomen en el sector agrícola son sumamente importantes, pues es responsable del 13% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, 44% de CH<sub>4</sub> y 82% de N<sub>2</sub>O (Jiménez *et al.*, 2023). A su vez, las acciones de adaptación se centran en las capacidades de los individuos, comunidades y naciones para manejar los efectos de las condiciones cambiantes y aprovechar las oportunidades que ofrecen (Awuni *et al.*, 2023), así como reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos a los efectos negativos del cambio climático (Orduño *et al.*, 2020).

Respecto a lo anterior, el uso de mallas ha surgido como una herramienta de adaptación eficiente al cambio climático para la producción de cultivos en condiciones climáticas y ambientales adversas (Mahmood *et al.*, 2018), con lo que su uso ha estado aumentando a nivel mundial en cultivos frutales para mitigar los daños asociados al cambio climático (Peavey *et al.*, 2022). Las distintas aplicaciones de estas mallas (sombra, antigranizo, anti-insectos) permiten minimizar fuentes de estrés abiótico y biótico como granizadas, olas de calor, vientos de alta intensidad, limitaciones de agua, plagas y enfermedades que afectan el rendimiento y calidad de la fruta (Mditshwa *et al.*, 2019; Boini *et al.*, 2023).

La implementación de estas mallas en los cultivos contribuye de distintas formas a reducir los riesgos que puede sufrir la producción y a la obtención de rendimientos más sostenidos (Manja y Aoun, 2019). Una de ellas es la protección que ofrecen al estrés abiótico ocasionado por excesos de calor y luz, los cuales aumentan la temperatura de la superficie de la fruta y con la exposición prolongada provocan quemaduras solares (Ranjan *et al.*, 2020). En regiones donde las temperaturas son altas esta es la principal vía de pérdida de frutos (McCaskill *et al.*, 2016) y en manzanos estas pueden alcanzar hasta un 40-50% de la producción al afectar negativamente la apariencia y color de los frutos, lo que reduce su comerciabilidad

(Manja y Aoun, 2019; Ranjan *et al.*, 2020). En relación a esto, las mallas son capaces de mitigar estos daños al reducir la radiación solar transmitida a través de ellas y con ello la temperatura en la superficie de los frutos (McCaskill *et al.*, 2016). Las tormentas de granizo y viento son otros fenómenos meteorológicos causantes de daños en la producción, a menudo originando cicatrices en la fruta, así como grietas y caídas en casos severos (Mditshwa *et al.*, 2019). En relación a esto, Brasil que es uno de los principales países productores de manzanas en América del Sur pronostica que los volúmenes disminuirán un 5,0% anualmente debido a este fenómeno (Bogo *et al.*, 2012), mientras que para el sector agrícola se prevé que los daños anuales por granizo podrían aumentar en un 25%-50% al 2050 (Botzen *et al.*, 2010). Sin embargo, en huertos con mallas antigranizo se ha reportado la protección total de los árboles (Kiprijanovski *et al.*, 2016), incentivando su uso pese a la inversión requerida, ya que los costos asociados a seguros muchas veces resultan antieconómicos (Iglesias y Alegre, 2006).

El uso de plaguicidas químicos ha sido una herramienta importante para reducir los daños ocasionados por las plagas en los cultivos y así satisfacer la creciente demanda de alimentos (de Bon *et al.*, 2014) y a pesar de que las tasas de aplicación y toxicidad de los compuestos agrícolas se ha reducido desde la revolución verde, el consumo mundial de ingredientes activos casi se ha duplicado en comparación con 1980 (McDougall, 2018). Si bien esta forma de control es efectiva contra plagas, los plaguicidas que afectan solo a las especies blanco son la excepción y el uso excesivo de estos ha contribuido a la pérdida de la biodiversidad y la alteración de los ecosistemas naturales y agrícolas (Savary *et al.*, 2019), incluidos impactos negativos en artrópodos benéficos, ambiente y la salud humana, además de aumentar el riesgo de resistencia en especies blanco y no blanco (de Bon *et al.*, 2014; Mukherjee *et al.*, 2019). En relación a esto, el uso de mallas anti-insectos constituye una opción para reducir el uso de plaguicidas (Diabate *et al.*, 2021; Boini *et al.*, 2023), ya que son capaces de proteger los cultivos por medio de la exclusión física y óptica de plagas (Ben-Yakir *et al.*, 2012). En diversos estudios se ha demostrado su efectividad para proteger distintos cultivos sin afectar la cantidad o calidad de la cosecha (Chouinard *et al.*, 2016; Chouinard *et al.*, 2017), puesto que

además son eficaces frente al ataque de aves, murciélagos frugívoros, así como el granizo, viento y quemaduras solares (Knoch *et al.*, 2020). Sin embargo, no impiden la entrada de microorganismos patógenos causantes de grandes pérdidas de rendimiento (Knoch *et al.*, 2020), aunque se ha reportado la protección ante enfermedades como la sarna del manzano y algunas royas (Chouinard *et al.*, 2017).

El agua en la agricultura es fundamental y el sector agrícola está fuertemente conectado con este recurso, de hecho, el 70% de las extracciones de agua dulce en el mundo se atribuyen a la agricultura (Wu *et al.*, 2023). En relación a esto, las variaciones microclimáticas provocadas por las mallas permiten reducir los requerimientos de agua en los cultivos y aumentar la eficiencia de su uso al disminuir la radiación solar entrante, la velocidad del viento y temperatura del aire, hojas y zona de raíces, favoreciendo la conservación del agua en el suelo (Lulane *et al.*, 2022; Kabir *et al.*, 2022).

Como se ha expuesto, el cambio climático puede afectar gravemente al sector agrícola y con ello a la seguridad alimentaria. Si bien, el uso de mallas aporta de distintas formas como una forma de adaptación al cambio climático, las acciones de mitigación también son necesarias para asegurar que la productividad agrícola y la seguridad alimentaria a largo plazo no se vean comprometidas, asegurando la sostenibilidad de la producción (Acquah y Onumah, 2011), puesto que difícilmente cualquier sistema alimentario estará exento de verse afectado por los escenarios del cambio climático proyectados (Jiménez *et al.*, 2023).

## **Capítulo 2. Mallas y coberturas**

En la actualidad, las cubiertas se utilizan en todo el mundo para proteger los cultivos de condiciones ambientales desfavorables como el granizo, viento, exceso de luz solar y plagas, al tiempo que mejoran la salud de los árboles, la productividad y la calidad de la fruta (Manja y Aoun, 2019). En este sentido, la actividad protectora de las cubiertas se debe a que combinan la protección física del huerto, junto con un cambio en las condiciones microclimáticas (tabla 1) a nivel de radiación, tipo de luz (directa o difusa), temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, entre otras (Mahmood *et al.*, 2018; Manja y Aoun, 2019; Yáñez, 2020).

Respecto a la radiación, la propiedad radiométrica de mayor importancia para

las plantas es la transmisión de radiación fotosintéticamente activa (PAR, 400-700 nm) de la cubierta, ya que es la fracción de radiación crucial para la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. En este sentido, en base a sus características existen dos tipos de mallas. Por un lado, se encuentran las mallas negras tradicionales, que reducen la intensidad de luz sin afectar la calidad espectral de la radiación y por otro, las mallas de colores o fotoselectivas que son capaces de modificar los espectros de luz que llegan a las plantas provocando distintas respuestas fisiológicas o fotomorfogénicas (Manja y Aoun, 2019). En ambos casos, la radiación transmitida a través de la malla se compone de la que pasa directamente por los poros y la que es interceptada por los hilos y dispersada debajo de la malla, donde la cantidad de la primera es proporcional a la porosidad de la cubierta, que se define como la relación entre el área abierta y el área total de la superficie de la malla (Mukherjee *et al.*, 2019), mientras que la segunda depende del tipo de material, el color y textura de la malla (Mahmood *et al.*, 2018).

En el caso de la temperatura se ha reportado que la incorporación de cubiertas permite disminuir la temperatura diaria máxima del aire y aumentar la temperatura mínima diaria (Iglesias y Alegre, 2006; Bastías y Leyton, 2018). Sin embargo, aún no se comprenden bien los efectos, pues mientras algunos estudios registran aumentos otros reportan disminuciones, lo que se ha atribuido a los diversos microclimas que se producen según los tipos de malla utilizados, el método de aplicación de éstas y la ubicación regional del huerto (Manja y Aoun, 2019). En relación a la humedad relativa ambiental, se ha reportado que bajo cobertura esta aumenta, posiblemente debido a la disminución de la velocidad del viento bajo la estructura (Wachsmann *et al.*, 2014) o a la acumulación de los productos de la transpiración que permanecen dentro de la malla (Tanny, 2013).

**2.1 Características, tipos de mallas y sistemas de protección.** En cuanto a materiales, el más utilizado para la fabricación de mallas agrícolas es el polietileno de alta densidad (HDPE), debido a que es un material no tóxico, reciclable, impermeable y con buenas propiedades mecánicas en términos de resistencia a la tracción, módulo de Young, resistencia y alargamiento a la rotura. El segundo material más comúnmente utilizado en la fabricación de mallas es el polipropileno,

Tabla 1. Efecto de distintos tipos de malla en la velocidad del viento, temperatura y humedad del aire, y luz PAR.

Tipo de malla	Sistema	País	Cultivo	Velocidad del viento	Temperatura del aire	Humedad del aire	PAR	Referencia
Malla sombra roja, azul, perla y negra; (50%)	CR	EE. UU	-	↓	↑↓ Max temp *	no dif	↓	Arthurs <i>et al.</i> , 2012
Mallas sombra negra, gris, perla, azul y rojo (30% sombra) **	CR	México	Pepino		no dif	↑	↑	Ayala <i>et al.</i> , 2018
Fotoselectivas blanca (20,4%), rojo (22,8%), azul (26,9%) y gris (27,3%)	FT	Italia	Kiwi		↓		↓	Basile <i>et al.</i> , 2012
Fotoselectivas rojo, azul y gris (40% sombra) ***	T	Italia	Manzanos				↓ 27-37%	Bastías <i>et al.</i> , 2012
Antigranizo negra	FT	Brasil	Manzanos				↓	Bosco <i>et al.</i> , 2015
Fotoselectivas rojo y perla (20% sombra)	FT	Chile	Vides		no dif	no dif	↓ 20%	Corvalán <i>et al.</i> , 2016
Antigranizo blanca	FT	Brasil	Manzanos				↓ 18,4%	do Amarante <i>et al.</i> , 2011
Malla sombra (50%)	FT	España	Limoneros		↓ Max temp		↓	García <i>et al.</i> , 2015
Malla sombra blanca (16% sombra)	CR	Australia	Perales	↓ 75%	↓	↑	↓	Goodwin <i>et al.</i> , 2018

FT= forma de techo; CR= casa de red; T= túnel.

\* Aumento bajo mallas de color y disminución bajo malla negra.

\*\* Comparada con malla negra (control).

\*\*\* Comparada con malla blanca (control).

Tabla 1. (cont.) Efecto de distintos tipos de malla en la velocidad del viento, temperatura y humedad del aire, y luz PAR.

Tipo de malla	Sistema	País	Cultivo	Velocidad del viento	Temperatura del aire	Humedad del aire	PAR	Referencia
Mallas sombra negra y transparente	FT	España	Manzanos		↓ Max temp ↑ Min temp	↑	↓	Iglesias y Alegre, 2006
Fotoselectivas perla, azul y rojo (20-23% sombra)	FT	EE. UU	Manzanos	↓ 40%	no dif	no dif	↓	Kalcsits <i>et al.</i> , 2017
Antigranizo	FT	Suiza	Manzanos		↓			Kührt <i>et al.</i> , 2006
Antigranizo verde-negro, verde-blanco, rojo-negro y rojo-blanco	FT	Alemania	Manzanos		↓ 1,3°C	↑ 2-5%	↓ 12-23%	Solomankhin y Blanke, 2010
Mallas sombra blanca (16% sombra) y perla (30% y 60% sombra)	FT	Israel	Manzanos	↓ 9%	↓			Tanny <i>et al.</i> , 2009
Fotoselectivas rojo (25%), amarillo (24%), blanco (18%) y transparente (13%)	FT	Israel	Mandarinos	↓ 70%	↓ Max temp ↑ Min temp	↑		Wachsmann <i>et al.</i> , 2014

FT= forma de techo; CR= casa de red; T= túnel.

\* Aumento bajo mallas de color y disminución bajo malla negra.

\*\* Comparada con malla negra (control).

\*\*\* Comparada con malla blanca (control).

especialmente para las no tejidas que se caracterizan por tener una resistencia estructural muy baja y ser generalmente utilizadas en huertas como cobertura directa sobre las plantas para protegerlas de la lluvia, las heladas y el viento (Castellano *et al.*, 2008; Mukherjee *et al.*, 2019). Materiales biodegradables, como los a base de almidón también se han utilizado para la fabricación de mallas agrícolas, puesto que poseen la ventaja de que al terminar su vida útil pueden ser desechados en el suelo o producir compost mediante su incorporación con materiales orgánicos. Sin embargo, son poco comunes en el mercado debido a su elevado costo en comparación con los materiales plásticos y su mayor susceptibilidad al deterioro por la exposición prolongada a la radiación solar y otros agentes climáticos (Castellano *et al.*, 2008).

Aparte del tipo de material, un parámetro importante para el comportamiento mecánico de las mallas es el tipo de tejido, donde se encuentran tres principales: tejido plano o italiano; tejido inglés; y de punto, tejidas o Raschel. El tejido plano produce mallas de estructura ligera y estable, con una rigidez relativamente alta y baja deformación. Se caracteriza por un tejido ortogonal simple entre hilos de trama y urdimbre, y en general son utilizadas para la construcción de mallas sombra o antigranizo, aunque también para mallas de exclusión menos finas. El tejido inglés se origina como una modificación al anterior y posee la ventaja de presentar una estructura más rígida, por lo mismo es mayormente utilizada para la protección contra eventos meteorológicos más fuertes como el granizo. Sus propiedades se deben a que son dos fibras de la trama las que se dedican a sostener un hilo de la urdimbre. Por último, en las tejidas o Raschel los hilos se encuentran unidos entre sí por medio de nudos, produciendo una especie de cadenas longitudinales e hilos de punto transversales, lo que permite que no se desenrede ni por la acción del viento ni del granizo (Briassoulis *et al.*, 2007; Castellano *et al.*, 2008).

Con base a su aplicación, las mallas agrícolas se pueden clasificar en cuatro categorías principales, correspondientes a antiviento (cortaviento), antigranizo, sombreadoras y de exclusión (anti-insectos) (Briassoulis *et al.*, 2007). Sin embargo, existen distintas características estructurales, radiométricas y físicas con las que se podrían agrupar de distintas formas (Castellano *et al.*, 2008).

La aplicación más antigua de las mallas en cultivos protegidos fue en fruticultura en especies como damascos, vides, manzanos, cerezos, y ornamentales como flores de corte; con el fin de evitar los daños causados por el granizo y viento. Las tramas finas de estas cubiertas permitían tolerar lluvias intensas y proteger contra la radiación ultravioleta, generalmente empleándose en condiciones de campo abierto sobre estructuras que cubrían los árboles de forma numerosa o individual (Manja y Aoun, 2019).

Las mallas sombra también se emplean como material de cobertura para proteger las plantas contra la radiación solar excesiva y las altas temperaturas. Se caracterizan por tener una transmitancia de luz que fluctúa entre el 20 y 70%, según el factor de sombreo, lo que permite modificar el microclima sin afectar la calidad de luz y funcionar como una barrera física (Stamps, 2009). En 1996, a partir de una asociación entre un grupo de investigación y la industria manufacturera evolucionan las mallas sombra apareciendo las mallas sombra de colores o fotoselectivas, capaces de dispersar la luz y alterar la composición espectral de esta mediante la incorporación de elementos cromóforos con propiedades dispersantes/reflectantes de la luz, cuyas combinaciones permiten el filtro de longitudes de onda específicas en función de las respuestas fisiológicas deseadas en las plantas (Zoratti *et al.*, 2015).

En el caso de las mallas de exclusión, éstas se han utilizado en la agricultura desde mediados del siglo XX, pero de forma más generalizada desde 1990 con su implementación en invernaderos para la protección de mosquita blanca (Hemiptera: Aleyroideae) (Gennadius) (Chouinard *et al.*, 2016). El objetivo de estas mallas es proteger los cultivos de varios tipos de insectos por medio de la exclusión física generada por el tamaño de los orificios de la malla o por la exclusión óptica al bloquear o absorber radiación ultravioleta (UV). En el caso de la exclusión física la dimensión del tórax del insecto, que generalmente es la parte más ancha y menos flexible del insecto, debe ser mayor al tamaño de los poros de la malla (Guiannoulis *et al.*, 2021). Los sistemas que utilizan estas mallas se clasifican como de exclusión completa o incompleta; en la exclusión incompleta el suelo no se excluye del sistema, lo que permite que varias especies de plagas completen su ciclo de vida y

permanezcan en el interior del área cerrada, mientras que en los de exclusión completa el suelo si está excluido del área encerrada (Chouinard *et al.*, 2016).

Considerando las estructuras que soportan las mallas, estas pueden configurarse e instalarse de diferentes formas en ambientes controlados como invernaderos o túneles, así como también en campo. En algunos casos, las mallas se ubican horizontalmente sobre los árboles en forma de techo plano, mientras que en otros las estructuras tienen forma de techo inclinado para permitir la caída del granizo por la superficie de la malla. Por otra parte, en el caso de los sistemas de exclusión, a veces se cubren los árboles de forma individual, por hileras o en bloque, incluyendo o no la superficie del suelo (Mahmood *et al.*, 2018; Manja y Aoun, 2019).

**2.2 Beneficios de la incorporación de cubiertas.** El uso de cubiertas se ha convertido en una eficiente herramienta para la producción de cultivos en condiciones ambientales adversas. Las modificaciones microclimáticas que producen permiten desarrollar adecuadamente los procesos hortícolas que influyen en la producción y calidad (Mahmood *et al.*, 2018). Los principales beneficios de las cubiertas surgen de las respuestas productivas de las plantas a los cambios producidos en el microclima, como el aumento de la actividad fotosintética, rendimiento y calidad de los frutos. Sin embargo, la reducción de la pérdida de agua desde las plantas y suelo que conllevan a una mayor eficiencia en el uso del agua (Sivakumar *et al.*, 2018) y la disminución de la dependencia de los agricultores de los agroquímicos, mediante el uso de mallas de exclusión (Briassoulis *et al.*, 2007), también son ventajas que han derivado del uso de cubiertas.

En comparación al aire libre se ha demostrado que bajo cobertura es mayor la eficiencia en el uso de la radiación, debido a que estas son capaces de dispersar la luz al interior del follaje, lo que repercute directamente en la actividad fotosintética de hojas sombreadas que se encuentran en el interior o niveles más bajos de los árboles (Tanny, 2013). Las condiciones de sombra moderada provocan una mayor actividad fotosintética debido a un menor cierre de estomas junto con un menor daño fotoinhibitorio en el fotosistema II a causa de la radiación que supera el punto de saturación fotosintética (Jutamanee y Onnom, 2016). A su vez, la sombra moderada es capaz de disminuir la temperatura de las hojas y la demanda de

evaporación, aumentando así la fotosíntesis. Este aumento puede conducir a una mayor producción de carbohidratos y mayor eficiencia en el uso del agua, lo que resulta en una mejor calidad de la producción (Sivakumar *et al.*, 2018). Si bien la sombra moderada puede contribuir a disminuir el estrés hídrico y por calor, aumentar el intercambio de gases y la disponibilidad de carbohidratos para la formación y el crecimiento de la fruta (Bastías *et al.*, 2012), se debe considerar que el sombreado excesivo también puede reducir la eficiencia de la fotosíntesis y las reservas de carbohidratos disponibles para el crecimiento reproductivo, reduciendo la formación de yemas y calidad de los frutos (Morandi *et al.*, 2011).

Los atributos de calidad de la fruta como el color, tamaño, firmeza y sabor son aspectos importantes tanto para la aceptación por parte de los consumidores como para el valor de la fruta en el mercado (Sivakumar *et al.*, 2018). Respecto a esto, se ha demostrado que el uso de mallas tiene un efecto positivo principalmente en los factores que afectan la calidad externa de los frutos, como las granizadas y quemaduras solares (Manja y Aoun, 2019).

En el caso del granizo, la forma directa de daño es la generación de heridas que provocan el desarrollo de tejido necrótico en frutos y partes de los brotes; sin embargo, secundariamente también puede facilitar el desarrollo de enfermedades e infecciones, así como causar la disminución del área foliar activa y actividad fotosintética (Kiprijanovski *et al.*, 2016). En manzanos, se ha reportado que granizadas severas no solo afectan la cosecha actual, sino que los daños estructurales y en las yemas de los árboles pueden reducir o acabar con la cosecha de las siguientes dos o tres temporadas (do Amarante *et al.*, 2011; Mupambi *et al.*, 2018). Respecto a esto, la incorporación de sistemas de malla antigranizo consigue disminuir el riesgo de producción y asegura rendimientos más sostenidos con fruta de primera calidad (Manja y Aoun, 2019). Estudios realizados por Iglesias y Alegre (2006) demostraron la eficiencia de las coberturas en el control del daño por granizo en manzanas “Mondial Gala”, y con el uso de mallas negra y cristal, la incidencia de daño por granizo se redujo del 10% (sin cobertura) a 0%.

En zonas geográficas donde las temperaturas son altas, el daño por quemaduras solares es la principal fuente de pérdida de frutos (Manja y Aoun,

2019). El estrés abiótico causado por el calor y la luz pueden aumentar la temperatura de la superficie de la fruta y con la exposición prolongada dar como resultado la aparición de quemaduras solares que pueden causar pérdidas significativas y reducir la comerciabilidad de la fruta (Ranjan *et al.*, 2020). De hecho, en manzanos se han reportado pérdidas de rendimiento de hasta un 40%, por el efecto individual o conjunto de altas temperaturas y radiación solar excesiva (Bastías *et al.*, 2018). En relación a esto, la utilización de mallas ha mostrado efectos positivos al reducir la cantidad de radiación directa que llega al cultivo y, en consecuencia, la cantidad de frutos afectados por golpe de sol (do Amarante *et al.*, 2011; Kalcsits *et al.*, 2017). Específicamente se ha demostrado una relación inversa entre el rendimiento comercial y el golpe de sol cuando se utilizan distintos tipos de mallas. Por ejemplo, las pérdidas asociadas a golpe de sol en manzanas “Pink Lady” han alcanzado valores de hasta un 18,3% sin uso de mallas, disminuyendo a 1,5% con malla fotoselectiva azul-gris. A su vez, en variedades más susceptibles como “Fuji” se ha conseguido disminuir las pérdidas desde un 40% en condiciones sin malla, a menos del 15% con el uso de mallas fotoselectivas (Bastías *et al.*, 2018).

La mayor eficiencia en el uso del agua de los sistemas cubiertos en comparación a las condiciones de campo abierto se debe a la capacidad de las mallas de disminuir la intensidad de la radiación solar que llega a los árboles y de esta forma reducir la evapotranspiración. Como consecuencia de esto se obtienen menores síntomas de estrés hídrico en las plantas, mayor fotosíntesis y un rendimiento significativamente mayor con frutos de mayor tamaño (Manja y Aoun, 2019). Por otra parte, las mallas contribuyen a disminuir la velocidad del viento, lo que genera un manto de humedad que disminuye la demanda ambiental evaporativa y consecuentemente la transpiración y déficit hídrico (Nicolás *et al.*, 2005). En este sentido, estudios realizados en huertos comerciales de manzanos ubicados en Sudáfrica y Australia reportaron disminuciones de 12 y 13%, respectivamente, en la evapotranspiración de referencia al comparar el control (sin malla) con los tratamientos compuestos por las cubiertas evaluadas (McCaskill *et al.*, 2016; Lulane *et al.*, 2022). De igual manera se ha visto que las cubiertas pueden ser útiles para mejorar la calidad de la uva, así como las cualidades sensoriales del sabor y aroma

del vino (Li *et al.*, 2022), en el caso de hortalizas proporcionan productos de mejor calidad durante la cosecha y postcosecha mediante la mantención de características sensoriales (Ilić y Fallik, 2017; Mahmood *et al.*, 2018), así como también disminuyen la invasión o incidencia de insectos plaga o vectores de virus (Ben-Yakir *et al.*, 2012).

### **Capítulo 3. Efectos de sistemas de malla sobre la artropofauna**

Más allá del uso de coberturas en los distintos sistemas de protección que conllevan una serie de beneficios para el desarrollo y productividad de los cultivos, las mallas también pueden afectar el comportamiento de los artrópodos al agregar un grado de complejidad al entorno en que se desarrollan (Chouinard *et al.*, 2016). En relación a esto, los distintos efectos pueden deberse a los cambios que se producen en las variables abióticas (Willden *et al.*, 2021), así como por la exclusión física y óptica de los insectos (Giannoulis *et al.*, 2021), y aunque esto puede resultar útil para excluir o reducir la presión de plagas, también puede restringir el movimiento de insectos benéficos como polinizadores (Evans *et al.*, 2019; Normandeau *et al.*, 2021).

En relación al entorno abiótico, la disponibilidad de agua y la temperatura son dos factores importantes que influyen en la distribución de los insectos. Estos artrópodos, debido a su reducido tamaño tienen una capacidad limitada para almacenar agua, al tiempo que tienen una gran superficie para perderla. En vista de esto, la humedad y la temperatura del entorno afectan la tasa de pérdida de agua en los insectos y aquellos que se encuentran en riesgo de deshidratación tienden a dirigirse a microclimas más favorables (Enjin, 2017). Por otra parte, la incapacidad de los insectos para regular por sí mismos su temperatura corporal provoca que las temperaturas ambientales tengan efectos directos sobre sus procesos fisiológicos y demandas metabólicas, lo que afecta aspectos ligados al comportamiento y desarrollo. En este sentido, numerosos estudios han evaluado los efectos a corto y largo plazo de la temperatura en el comportamiento de los insectos, incluida la búsqueda de alimento, tasa de alimentación, reproducción y movimiento, con tendencias al aumento a medida que se incrementan las temperaturas (Hannigan *et al.*, 2023).

El viento es otro factor abiótico que afecta la dispersión de los insectos (Pasek,

1988), por lo que el uso de mallas que disminuyen significativamente su velocidad (Goodwin *et al.*, 2018; Kalcsits *et al.*, 2017) podría influir de forma importante la presencia y distribución de insectos en sistemas protegidos. En el caso de insectos ápteros pequeños, estos en general dependen de las corrientes de aire para transportarse a nuevos sitios y tienden a establecerse en áreas con velocidades de viento bajas. Por otra parte, los insectos voladores también tienden a acumularse en zonas con velocidades de viento más reducidas donde tienen mayor control del vuelo; sin embargo, sus patrones de distribución pueden modificarse con movimientos dirigidos en respuesta a estímulos olfativos o visuales (Pasek, 1988). Aunque, a pesar de que estos movimientos son dirigidos pueden verse afectados por la velocidad del viento según el tamaño del insecto. Por ejemplo, en *Drosophila* spp. se ha visto que tareas de seguimiento se realizan exitosamente con velocidades de  $0,4 \text{ ms}^{-1}$ , pero velocidades superiores a  $1 \text{ ms}^{-1}$  pueden provocar su advección por el viento. Así también, en abejas se han reportado disminuciones en la tasa de visita a flores con velocidades de viento en un rango de  $2,5 - 3,0 \text{ ms}^{-1}$ , por lo que numerosos estudios sugieren que muchos insectos tienen más probabilidades de realizar labores de seguimiento con velocidades de viento inferiores a  $3 \text{ ms}^{-1}$  (Houle y Breugel, 2023).

Respecto al entorno lumínico, los cambios que se generan en los ambientes protegidos en términos de cantidad o calidad de luz también pueden alterar el comportamiento de los insectos (Yáñez *et al.*, 2021). Los artrópodos utilizan señales visuales para, entre algunas cosas, la dispersión, selección de huéspedes, búsqueda de alimento, depredación, parasitismo, defensa y selección de pareja (Ben-Yakir y Fereres, 2016; Fennell *et al.*, 2020). Asimismo, la luz también es un importante regulador de procesos fisiológicos y del comportamiento de los insectos, mediante respuestas fototácticas positivas o negativas, periodos de adaptación a la luz y ritmos circadianos, entre otros (Shimoda y Honda, 2013). Por tanto, bloquear o disminuir la disponibilidad de espectros de radiación específicos necesarios para la visión de los insectos (exclusión óptica) puede afectar su comportamiento, así como su orientación y capacidad de dispersión (Miranda *et al.*, 2015; Yáñez *et al.*, 2021).

Los sistemas visuales de los insectos se dividen en acromáticos y cromáticos, aunque los mecanismos perceptivos y de procesamiento se encuentran fuertemente relacionados. La visión acromática consiste en la percepción de la luz y la oscuridad, independientemente de la longitud de onda, y es importante para la locomoción, respuesta a objetos en movimiento, medir distancias y la orientación en el vuelo (Fennell *et al.*, 2019; Fennell *et al.*, 2020). Por otra parte, la visión cromática o del color es útil para la comunicación (intraespecífica e interespecífica) y evaluación de recursos relevantes del entorno (pareja, refugio y lugares para la oviposición) (Lebhardt y Desplan, 2017) y se basa en la capacidad para discriminar diferentes longitudes de onda mediante al menos dos fotorreceptores con diferente sensibilidad espectral (Fennell *et al.*, 2020). En la mayoría de los artrópodos las señales visuales son percibidas por dos tipos de órganos fotorreceptores, los ojos compuestos y los ocelos (Díaz y Fereres, 2007). Los ojos compuestos están formados por un gran número de unidades sensibles a la luz denominadas omatidios, que se reúnen en una matriz hexagonal para cubrir un gran campo visual con cierta resolución espacial y para percibir el movimiento de los objetos (Shimoda y Honda, 2013). Por su parte, los ocelos son malos formadores imágenes en comparación con los ojos compuestos, detectando principalmente extensiones claras y oscuras (Díaz y Fereres, 2007).

En gran parte de los insectos los ojos compuestos contienen tres tipos de células fotorreceptoras con sensibilidades espectrales máximas en las regiones de longitud de onda UV (<400 nm), azul (400-500 nm) y verde (500-570 nm) (Shimoda y Honda, 2013; Fennell *et al.*, 2019). Aunque, algunas especies muestran variaciones a este sistema tricromático básico y presentan cuatro o más tipos de fotorreceptores (Döring y Chittka, 2007); como en algunas especies de lepidópteros, coleópteros e himenópteros que presentan sensibilidades adicionales a longitudes de onda larga (>570 nm) (Fennell *et al.*, 2019). De los espectros de radiación, los ojos de los insectos son particularmente sensibles a la radiación ultravioleta (Shimoda y Honda, 2013), ya que el componente UV es especialmente importante para el comportamiento, orientación, navegación, alimentación e interacción sexual de los insectos (Cronin y Bok, 2016). Por esta razón, diversos estudios han examinado el

impacto de la atenuación UV en la propagación de insectos y el potencial control de plagas agrícolas (Fennell *et al.*, 2020), observándose repetidamente menores poblaciones de áfidos, trips y mosca blanca en cultivos bajo mallas o plásticos con atenuación o bloqueo UV (Legarrea *et al.*, 2012; Kigathi y Poehling, 2012; Ben-Yakir *et al.*, 2012). Sin embargo, se debe considerar que una señal UV puede ser útil tanto por su ausencia como por su presencia (Cronin y Bok, 2016) y que la respuesta de un artrópodo a la luz ultravioleta se ve afectada por su etapa de vida, estado fisiológico y comportamiento (Ben-Yakir y Fereres, 2016).

Por último, independiente de si las mallas son de exclusión o de sombreado, funcionan como una barrera mecánica que detiene el paso de diversas plagas, siendo las de exclusión las que tienen un efecto más pronunciado sobre la fauna (Yáñez, 2020). Respecto a esto, los sistemas de malla pueden afectar el ciclo de vida de algunos insectos; el comportamiento de artrópodos encerrados y excluidos; y el desarrollo de especies no objetivo, como enemigos naturales y polinizadores (Chouinard *et al.*, 2016; Pajač Živković *et al.*, 2018; Evans *et al.*, 2019), debido a que la exclusión física afecta drásticamente las estrategias de los insectos para localizar pareja, sitios de oviposición y/o alimento (Chouinard *et al.*, 2016).

**3.1 Efectos sobre polinizadores.** La polinización es un servicio ecosistémico esencial para la productividad de los cultivos y el funcionamiento de los ecosistemas. Los polinizadores y en particular las abejas polinizan más del 70% de los cultivos del mundo y contribuyen al 35% de la producción mundial de alimentos (Saturni *et al.*, 2016). Pese a esto, los servicios de polinización están cada vez más amenazados por las perturbaciones antropogénicas derivadas de la intensificación agrícola, que incluyen la modificación, fragmentación y pérdida de los hábitats naturales que proveen de alimento y recursos de anidación para los polinizadores, y el uso de agroquímicos (Bates *et al.*, 2011; Saturni *et al.*, 2016). En este sentido, las cubiertas protectoras representan un cambio importante del paisaje en los entornos agrícolas y su uso puede ser perjudicial para algunos aspectos de la polinización (Evans *et al.*, 2019; Kendall *et al.*, 2021).

En una revisión realizada por Kendall *et al.* (2021) con el objetivo de sintetizar lo que se conoce acerca del uso de cubiertas protectoras (invernaderos, recintos de

mallas y túneles) sobre la salud de los polinizadores y servicios de polinización, se identificaron 290 estudios relevantes. De ellos, la mayoría se realizaron en invernadero (43%) y en menor medida en túneles de polietileno (16%) y sistemas de malla (13%); teniendo en un 90% al taxón de abejas como sujetos de estudio. A pesar de que la mayoría de los estudios reportaron que el servicio de polinización no se vio afectado por los sistemas de protección, el 54% de los que investigaron la salud de los polinizadores reportaron que las cubiertas tuvieron un efecto negativo que contribuyó a una disminución en el número de polinizadores, incluyendo la disminución de la reproducción; mortalidad de adultos; reducción en la actividad de forrajeo y aumento en la prevalencia de enfermedades. En esta revisión se identificaron como contribuyentes los cambios microclimáticos; calidad y cantidad de luz; la orientación de los insectos; y el acceso reducido a recursos alimentarios. Resultados similares fueron reportados por Evans *et al.* (2019) sobre *Apis mellifera* (L.) (Hymenoptera: Apidae) en huertos de kiwi cubiertos en bloque por mallas antigranizo blancas, donde en contraste a los huertos descubiertos, las colonias de abejas bajo malla registraron una pérdida importante de hembras adultas; dificultades para volver a la colmena, junto a un menor número y duración de vuelos en búsqueda de alimento. Tanto la pérdida de abejas como los cambios de comportamientos fueron asociados a los cambios ambientales y las dificultades para la orientación (trampas de luz) causados por las cubiertas. Pese a esto, no se registraron diferencias en el servicio de polinización. Por su parte, Normandeau *et al.* (2021) estudiando la eficacia de colonias comerciales de abejorros *Bombus impatiens* (Cresson) (Hymenoptera: Apidae) para la polinización de manzanos bajo mallas de exclusión completa, reportaron que estos no vieron afectada su actividad de búsqueda de alimento ni experimentaron dificultades para navegar en el entono de malla. Además, proporcionaron un servicio de polinización equivalente al entregado por abejas melíferas y comunidades silvestres en entorno descubierta. En general, estos resultados pueden deberse a que las abejas no toleran estar restringidas en espacios cerrados como al interior de mallas. Sin embargo, los abejorros suelen ser utilizados para la polinización en cultivos protegidos, como en invernaderos y túneles altos (Normandeau *et al.*, 2021); y su actividad es menos

sensible a condiciones de poca luz (Karbassioon *et al.*, 2023). Además, las especies de polinizadores de cuerpo más grande como *Bombus* spp. posiblemente sean más adecuadas para su uso bajo cubiertas o baja disponibilidad de luz, ya que las capacidades visuales de los insectos pueden aumentar con el tamaño del cuerpo (Kendall *et al.*, 2021).

**3.2 Efecto sobre enemigos naturales.** Los enemigos naturales como parasitoides y depredadores proporcionan un servicio ecosistémico valioso a través del control biológico de plagas (Marshall y Beers, 2022), junto con contribuir a la producción sostenible de los sistemas agrícolas al reducir o eliminar el uso de pesticidas (Alhadidi *et al.*, 2018). Con relación a los sistemas protegidos, los estudios que han evaluado su efecto sobre los enemigos naturales aún son escasos (Yáñez *et al.*, 2021) y en algunos casos contradictorios, debido a la cantidad de factores que inciden en las condiciones naturales y que dificultan determinar el efecto real de las mallas (Chouinard *et al.*, 2016).

En el caso de los depredadores, se ha reportado tanto el impacto neutro, como negativo del uso de mallas (principalmente en sistemas de exclusión) sobre el general de los depredadores y grupos particulares de ellos. Por ejemplo, Candian *et al.* (2021) utilizando mallas antigranizo fotoselectivas, encontraron una abundancia significativamente mayor de depredadores, capturados en trampas amarillas, en parcelas descubiertas; sin embargo, no se registraron diferencias significativas luego de un tratamiento de derribo. Por tanto, se concluyó que las mallas no afectaron negativamente la abundancia de depredadores y que es probable que las trampas amarillas pierdan su atractivo bajo mallas fotoselectivas (Candian *et al.*, 2020). Efectos neutros también han sido reportados en comunidades de arañas, al utilizar mallas fotoselectivas en huertos de manzano, Pajač Živković *et al.* (2019) concluyeron que estas no tienen efectos negativos sobre las arañas del suelo y que su uso no interfirió con la abundancia, riqueza o composición de las especies presentes. Asimismo, distintos estudios han reportado el nulo efecto de mallas antigranizo, fotoselectivas y de exclusión sobre poblaciones de tijereta europea *Forficula auricularia* (L.) (Dermaptera: Forficulidae) (Dib *et al.*, 2010; Marshall y Beers, 2021; Marshall y Beers, 2022). Con relación a los efectos

negativos, los mayores impactos han sido evidenciados en grupos de depredadores de mayor tamaño como sírfidos (Diptera: Syrphidae) y crisópidos (Neuroptera: Chrysopidae), al ser excluidos por las mallas (Marshall y Beers, 2021; Marshall y Beers, 2022). Estos resultados coinciden con Dib *et al.* (2010); sin embargo, en su estudio los mayores efectos fueron atribuidos a la débil representación de coccinélidos, en las parcelas con mallas, debido a que la barrera física solo permitía el paso de individuos de menor tamaño, principalmente *Scymnus* spp. (Coleoptera: Coccinellidae). Por otra parte, pese a los efectos perjudiciales mencionados para los sírfidos y coccinélidos, en un estudio de Dáder *et al.* (2015) la transmitancia de luz UV no tuvo ningún efecto sobre individuos de *Sphaerophoria rueppelli* (Wiedemann) (Diptera: Syrphidae) liberados en túneles de mallas fotoselectivas. Asimismo, Yáñez *et al.* (2021) en condiciones de laboratorio obtuvieron con *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) que las mallas fotoselectivas y malla de sombra negra pueden afectar el tiempo de localización de presas, pero que la eficacia de depredación no se ve afectada.

En lo que respecta a los parasitoides, a pesar de que distintos estudios han evaluado el efecto de los sistemas de exclusión en comunidades de artrópodos y encontrando efectos adversos sobre enemigos naturales como depredadores, estos no reportaron impactos negativos en los parasitoides (Dib *et al.*, 2010; Marshall y Beers, 2021; Marshall y Beers, 2022). En algunos estudios incluso se han observado aumentos en la densidad de parasitoides como *Aphelinus mali* (Hald) en huertos de manzanos bajo mallas, atribuido al aumento poblacional del pulgón lanígero del manzano *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (Hemiptera: Eriosomatidae), su huésped (Marshall y Beers, 2021; Marshall y Beers, 2022). Otros estudios mediante la liberación de parasitoides en túneles con mallas fotoselectivas e invernaderos con plásticos UV absorbentes han evaluado el efecto de la atenuación UV en el desempeño de parasitoides y reportado que especies como *Aphidius ervi* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae), *A. colemani* (Viereck) (Hymenoptera: Aphidiidae), *A. matricariae* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae), y *Diglyphus isaea* (Walker) (Hymenoptera: Eulphidae) no se ven afectadas por la deficiencia de luz UV en el ambiente, mientras que *Eretmocerus mundus* (Mercet)

(Hymenoptera: Aphelinidae) presenta dificultades para localizar su huésped en dichas condiciones (Chyzik *et al.*, 2003; Chiel *et al.*, 2006; Sal *et al.*, 2008; Legarrea *et al.*, 2014; Dáder *et al.*, 2015). Por ello, se sugiere que existen respuestas especie-específicas a la luz UV y que los efectos del uso de materiales UV absorbentes no se debe generalizar entre especies (Dáder *et al.*, 2015). Asimismo, en los casos donde los parasitoides no se ven afectados por la falta de luz UV es probable que las señales olfativas sean más útiles que las visuales para localizar a su huésped; y en contaste, la mayor dependencia de la luz UV y señales visuales cuando se desempeñan mal en ambientes deficientes de UV (Chyzik *et al.*, 2003; Chiel *et al.*, 2006).

**3.3 Efectos sobre plagas.** Las plagas de insectos son la principal fuente de estrés biótico en los cultivos (Mahmood *et al.*, 2014). Los datos indican que los artrópodos destruyen aproximadamente entre el 18 y 20% de la producción agrícola mundial (Sharma *et al.*, 2017) y que las pérdidas ocasionadas por plagas podrían alimentar aproximadamente a mil millones de personas (Vidogbéna *et al.*, 2015).

En el pasado, la protección de cultivos se basaba principalmente en el uso de plaguicidas sintéticos para prevenir o limitar el daño de las plagas. Sin embargo, los efectos ya mencionados de su uso indiscriminado han provocado en los últimos años un interés creciente en el desarrollo de estrategias de control alternativas (Candian *et al.*, 2020). Entre estas, el uso de mallas que permiten la exclusión física u óptica de plagas se ha sumado como herramienta al manejo integrado de plagas (MIP) (Ben-Yakir *et al.*, 2012; Legarrea *et al.*, 2012; Giannoulis *et al.*, 2021), controlando eficazmente artrópodos de importancia agrícola como: hemípteros, dípteros, y lepidópteros, entre otros (Tasin *et al.*, 2008; Candian *et al.*, 2021; Nelson *et al.*, 2023; Fornasiero *et al.*, 2023), desde un enfoque en que la eliminación de las plagas no es necesaria para evitar las mermas en la producción (Chouinard *et al.*, 2016).

En pomáceas se ha estudiado ampliamente el efecto de mallas antigranizo y sistemas de exclusión Alt'Carpo sobre plagas de lepidópteros como la polilla de la manzana (*Cydia pomonella*) (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), una de las principales plagas a nivel mundial en huertos de manzanos y perales (Kelderer *et al.*, 2010). En

este sentido, numerosos autores han señalado que las mallas forman una barrera física al ingreso de polillas adultas y que tienen un efecto perjudicial en la reproducción de *C. pomonella*, previniendo el daño en frutos (Tasin *et al.*, 2008; Kelderer *et al.*, 2010; Sauphanor *et al.*, 2012) y permitiendo la disminución significativa del uso de insecticidas (Alaphilippe *et al.*, 2016). Tasin *et al.* (2008), igualmente, informaron que mallas antigranizo ubicadas en manzanos afectaron la respuesta conductual de polillas macho durante la localización de pareja, con un menor número de machos capaces de localizar el llamado de hembras vírgenes o una fuente sintética de feromonas sexuales. Junto a esto, la menor captura de machos bajo mallas repercutió en el éxito de apareamiento y como resultado el daño larvario en frutos fue significativamente menor. Estos resultados coinciden con otros autores que han obtenido capturas significativamente menores de adultos y niveles de protección en frutos superiores al 90% (Kelderer *et al.*, 2010; Baiamonte *et al.*, 2016; Pajač Živković *et al.*, 2016; Chouinard *et al.*, 2017) o significativamente mayores que en parcelas descubiertas tratadas con insecticidas (Marshall y Beers, 2021; Marshall y Beers, 2022; Nelson *et al.*, 2023), incluso cuando se comprobó previamente la capacidad de los adultos para atravesar la malla y de las hembras para oviponer a través de ellas (Sauphanor *et al.*, 2012). Estos sistemas antigranizo y de exclusión también han resultado efectivos para reducir las poblaciones y daño de otros lepidópteros como *Argyrotaenia velutinana* (Walker) (Lepidoptera: Tortricidae) (Nelson *et al.*, 2023) y *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) (Candian *et al.*, 2021). Sin embargo, también se ha visto que aumentan el daño del enrollador de hojas oblicuas *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera: Tortricidae) (Chouinard *et al.*, 2017) y Alaphilippe *et al.* (2016) reportaron que las mallas favorecen el desarrollo de *Adoxophyes orana* (Fisher von Roslerstamm) (Lepidoptera: Tortricidae) y resultados contradictorios para *G. molesta*.

Las especies del orden Hemíptera debido a su alimentación polífaga pueden causar daños serios en diversos cultivos, provocando daños físicos directos e indirectos como la transmisión de patógenos virales hacia las plantas de las cuales se alimentan, causando pérdidas económicas por la reducción de la producción

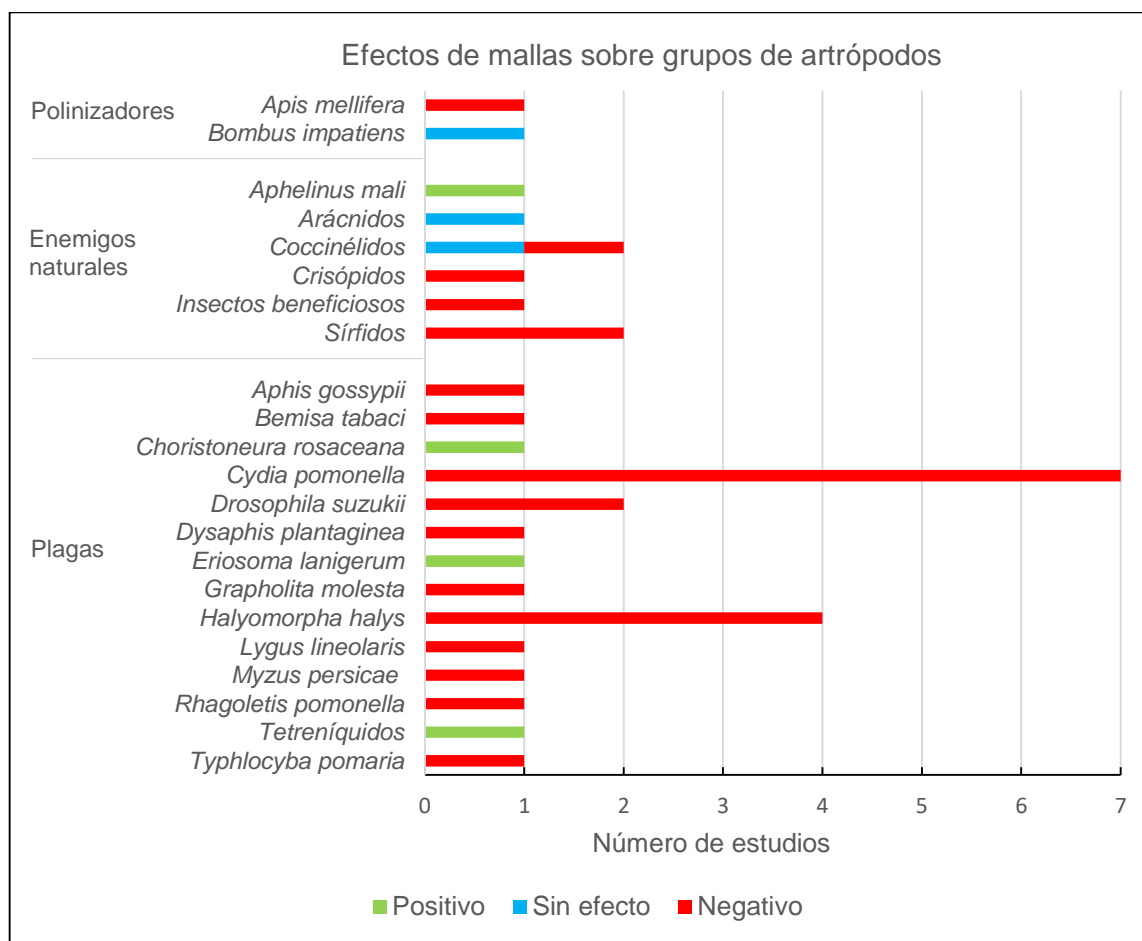
(Yáñez, 2020). En el caso de los pulgones, la influencia de las mallas es bastante controvertida y parece estar relacionada principalmente con la especie (Dib *et al.*, 2010; Chouinard *et al.*, 2016), el microclima bajo las mallas y la exclusión de enemigos naturales (Manja y Aoun, 2019). Con relación a la transmisión de patógenos, Ben-Yakir *et al.* (2012) reportaron que plantas de tomate y pimentón cultivadas bajo mallas amarillas y perladas tenían niveles consistente y significativamente más bajos de pulgones como *Myzus persicae* (Sulzer) y *Aphis gossypii* (Glover), y de la mosca blanca, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyroideae), en comparación a plantas cultivadas bajo mallas negras o rojas, reduciéndose entre dos y diez veces la incidencia de enfermedades virales transmitidas por estas plagas. Resultados similares ya habían sido obtenidos por otros estudios en que mediante la limitación o bloqueo del UV encontraron niveles de infestación menores de *A. gossypii*, *B. tabaci* y *Bemisia argentifolii* (Bellows y Perring) (Hemiptera: Aleyroideae), junto a tasas más bajas de propagación de enfermedades virales. En todos estos estudios se dedujo una modificación del comportamiento de los insectos al cambiar la percepción del color, un proceso en que se requiere de luz UV encontrar su planta huésped (Kumar y Poehling, 2006; Legarrea *et al.*, 2010; Legarrea *et al.*, 2012). En otras especies de áfidos Alaphilippe *et al.* (2016), mencionaron que las mallas utilizadas contra *C. pomonella* pueden favorecer el desarrollo de plagas secundarias como el pulgón lanígero del manzano y el pulgón rosado de la manzana, *Dysaphis plantaginea* (Passerini) (Hemiptera: Aphididae). En el caso del pulgón lanígero del manzano, estudios posteriores coinciden con el efecto de las mallas y han reportado densidades considerablemente mayores de ellos bajo estas, debido a la exclusión de depredadores como crisópidos y sírfidos, y al control insuficiente ejercido por su parasitoide primario *Aphelinus mali* (que también estuvo presente en densidades mayores bajo mallas) y tijeretas (Marshall y Beers, 2021; Marshall y Beers, 2022). Sin embargo, para el pulgón rosado de la manzana, *D. plantaginea*, no hay un efecto claro, ya que en estudios anteriores se había observado el impacto negativo de mallas Alt'Carpo blancas en el desarrollo de colonias de esta plaga, especialmente en presencia de al menos un enemigo natural (Dib *et al.*, 2010). La chinche marrón

marmoleada *Halyomorpha halys* (Stal) (Hemiptera: Pentatomidae) es otra especie de importancia económica causante de pérdidas productivas devastadoras de hasta el 100% en huertos de manzanos y durazneros (Fornasiero *et al.*, 2023), debido a que requiere de estructuras frutales para completar su desarrollo. Respecto a esto, en distintos estudios se ha reportado la eficacia de sistemas de exclusión con mallas fotoselectivas antigranizo perladas en el control de esta plaga, disminuyendo significativamente sus poblaciones y el daño ocasionado en frutos en hasta un 78% en comparación a parcelas sin mallas tratadas con insecticidas, permitiendo una fuerte reducción de los tratamientos con insecticidas (Candian *et al.*, 2018; Candian *et al.*, 2020; Candian *et al.*, 2021). Asimismo, Fornasiero *et al.* (2023) evaluando el efecto del color sobre *H. halys* encontraron una protección mayor con mallas Alt'Carpo blancas que negras, debido a que registraron temperaturas más altas que son perjudiciales para el desarrollo y supervivencia de la plaga.

En dípteros como la mosca de alas manchadas, *Drosophila suzukii* (Matsmura) (Diptera: Drosophilidae) aunque se ha informado que solo las mallas de tamaño <1 mm<sup>2</sup> pueden excluirla (Cormier *et al.*, 2015), mallas fotoselectivas de mayor tamaño han conseguido disminuir su abundancia en huertos frutales, probablemente más por sus propiedades ópticas que físicas (Candian *et al.*, 2020; Candian *et al.*, 2021). Estos efectos ópticos sobre la abundancia de plagas también han sido reportados en trips cuando se han utilizado mallas fotoselectivas u otros materiales con atenuación UV (Kumar y Poehling, 2006; Legarrea *et al.*, 2010). Kigathi y Poehling (2012) demostraron la preferencia de estos insectos por ambientes ricos en UV y la limitada dispersión en situaciones con luz UV deficiente al estudiar el trips occidental de las flores, (*Frankliniella occidentalis* (Pergande); Thysanoptera: Thripidae). Por último, con relación a los ácaros, los estudios han mostrado resultados poco concluyentes, pues mientras algunos reportan mayores densidades de tetraníquidos en parcelas de malla, otros no registran diferencias frente a tratamientos sin malla o con manejo convencional (Marshall y Beers, 2021; Marshall y Beers, 2022). Sin embargo, se ha sugerido que los efectos del microclima son la causa de los cambios en las densidades de ácaros, posiblemente los relacionados a la intensidad de la luz y el viento (Chouinard *et al.*, 2016; Chouinard *et al.*, 2017).

**3.4 Análisis final.** A partir de la información presentada, se detallan los efectos reportados por distintos estudios de las mallas agrícolas sobre diversos artrópodos (apéndice 1).

Figura 1. Número de estudios y efectos (positivos, negativos o neutros) de mallas reportados en polinizadores, enemigos naturales y plagas.



En términos de distribución (Figura 1), el grupo de las plagas es donde se reporta la mayor cantidad de estudios, particularmente en especies como *C. pomonella* y *H. halys*, seguido por los enemigos naturales y polinizadores, respectivamente. Con relación a las plagas, los efectos reportados se centran en el número de capturas, abundancia y daños ocasionados, resultando en gran parte de los casos el uso de mallas una alternativa efectiva de control. Con relación a los enemigos naturales, aunque no se reportan efectos negativos sobre arácnidos, los estudios coinciden en el impacto negativo de las mallas en la exclusión de artrópodos como crisópidos y

sírfidos, lo que puede estar relacionado al aumento de algunas plagas en sistemas de malla por falta de depredadores. En cuanto a los polinizadores, pese a que no se han reportado diferencias en los servicios de polinización, los estudios aún son limitados y los efectos de las mallas pudiesen estar más relacionados con la salud y comportamiento de los polinizadores que con el servicio de polinización. Por último, pese a que se han utilizado distintos tipos de malla, la mayoría de los estudios evaluaron el efecto en los artrópodos utilizando sistemas de exclusión.

## **CONCLUSIONES**

1. La mayoría de los estudios que han evaluado el impacto de las mallas en artrópodos se han centrado en sistemas de exclusión, por lo que se requieren estudios que evalúan otros sistemas de mallas sobre las comunidades de artrópodos.
2. El efecto físico de las mallas y los cambios que producen en el microclima son los responsables de la protección de los cultivos y los diversos efectos en la artropofauna. La elección adecuada de la malla es crucial para minimizar los efectos negativos y maximizar los positivos.
3. El uso de mallas es una alternativa eficaz para el manejo integrado de plagas, aunque se requiere de más estudios sobre su impacto en las comunidades de artrópodos y especialmente en aquellos benéficos, como polinizadores y enemigos naturales de plagas.
4. Ante los desafíos del cambio climático, es importante considerar estrategias de adaptación como la implementación de sistemas de malla que mejoran la resiliencia de los cultivos.

## **REFERENCIAS**

1. Acquah, H. and E. E. Onumah. 2011. "Farmers perception and adaptation to climate change: An estimation of willingness to pay." *Agris on-line Papers in Economics and Informatics* 3(665-2016-44813): 31-39.
2. Alaphilippe, A., Capowiez, Y., Severac, G., Simon, S., Saudreau, M., Caruso, S., and Vergnani, S. 2016. Codling moth exclusion netting: an overview of French and Italian experiences. *IOBC-WPRS Bull.*, 112, 31-35.

3. Alhadidi, S. N., Griffin, J. N., and Fowler, M. S. 2018. Natural enemy composition rather than richness determines pest suppression. *BioControl*, 63(4), 575-584. <https://doi.org/10.1007/s10526-018-9870-z>
4. Antignus, Y. 2000. Manipulation of wavelength-dependent behaviour of insects: an IPM tool to impede insects and restrict epidemics of insect-borne viruses. *Virus Research*, 71(1), 213-220. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-1702\(00\)00199-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-1702(00)00199-4)
5. Arthurs, S. P., Stamps, R. H., and Giglia, F. F. 2013. Environmental Modification Inside Photosensitive Shadehouses. *HortScience horts*, 48(8), 975-979. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.975>
6. Awuni, S., Adarkwah, F., Ofori, B. D., Purwestri, R. C., Huertas Bernal, D. C., and Hajek, M. 2023. Managing the challenges of climate change mitigation and adaptation strategies in Ghana. *Heliyon*, 9(5), e15491. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15491>
7. Ayala, F., Yáñez Juárez, M., López Orona, C., López, R., Alcaraz, T., and Valdés, T. 2018. Sunlight transmitted by colored shade nets on photosynthesis and yield of cucumber. *Ciência Rural*, 48. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170829>
8. Baiamonte, I., Raffo, A., Nardo, N., Moneta, E., Peparario, M., D'Aloise, A., Kelderer, M., Casera, C., and Paoletti, F. 2016. Effect of the use of anti-hail nets on codling moth (*Cydia pomonella*) and organoleptic quality of apple (cv. Braeburn) grown in Alto Adige Region (northern Italy). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 2025-2032. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.7313>
9. Basile, B., Giaccone, M., Cirillo, C., Ritieni, A., Graziani, G., Shahak, Y., and Forlani, M. 2012. Photo-selective hail nets affect fruit size and quality in Hayward kiwifruit. *Scientia Horticulturae*, 141, 91-97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.022>
10. Bastías, R. and M. Leyton. 2018. "Producción de cerezos bajo rafia y plástico: efectos en el microclima, calidad y condición de la fruta." *Rev. Frutícola* 40: 8-14.
11. Bastías, R. M., Manfrini, L., and Corelli Grappadelli, L. 2012. Exploring the Potential use of Photo-Selective Nets for Fruit Growth Regulation in Apple. *Chilean journal of agricultural research*, 72, 224-231.
12. Bastías, R., Moya, E., Quezada, C., Leyton, M. J., Castro, D., y Pinto, A. 2018. Manejo de huertos de manzanos bajo mallas para el control de daño por sol.
13. Bates, A. J., Sadler, J. P., Fairbrass, A. J., Falk, S. J., Hale, J. D., and Matthews, T. J. 2011. Changing Bee and Hoverfly Pollinator Assemblages along an Urban-Rural Gradient. *Plos one*, 6(8), e23459.

14. Ben-Yakir, D., and Fereres, A. 2016. The effects of UV radiation on arthropods: A review of recent publications (2010-2015). *Acta Horticulturae*, 1134, 335-342. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.44>
15. Ben-Yakir, D., Antignus, Y., Offir, Y., and Shahak, Y. 2012. Colored shading nets impede insect invasion and decrease the incidences of insect-transmitted viral diseases in vegetable crops. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 144(3), 249-257. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2012.01293.x>
16. Bogo, A., Casa, R. T., Agostineto, L., Gonçalves, M. J., and Rufato, L. 2012. Effect of hail protection nets on apple scab in 'Royal Gala' and 'Fuji' apple cultivars. *Crop Protection*, 38, 49-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.020>
17. Boini, A., Bortolotti, G., Perulli, G. D., Venturi, M., Bonora, A., Manfrini, L., and Corelli Grappadelli, L. 2023. Gala apple production benefits from high shading levels and water limitation, under exclusion netting. *Scientia Horticulturae*, 310, 111756.
18. Bosco, L. C., Bergamaschi, H., Cardoso, L. S., de Paula, V. A., Marodin, G. A. B., and Nachtigall, G. R. 2015. Apple production and quality when cultivated under anti-hail cover in Southern Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 59(7), 773-782. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0893-6>
19. Botzen, W. J. W., Bower, L. M., and van den Bergh, J. C. J. M. 2010. Climate change and hailstorm damage: Empirical evidence and implications for agriculture and insurance. *Resource and Energy Economics*, 32(3), 341-362. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2009.10.004>
20. Briassoulis, D., Mistriotis, A., and Eleftherakis, D. 2007. Mechanical behaviour and properties of agricultural nets. Part II: Analysis of the performance of the main categories of agricultural nets. *Polymer Testing*, 26(8), 970-984. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2007.06.010>
21. Briassoulis, D., Mistriotis, A., and Eleftherakis, D. 2007. Mechanical behaviour and properties of agricultural nets—Part I: Testing methods for agricultural nets. *Polymer Testing*, 26(6), 822-832. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2007.05.007>
22. Candian, V., Pansa, M. G., Santoro, K., Spadaro, D., Briano, R., Peano, C., Tavella, L., and Tedeschi, R. 2021. First Multi-Target Application of Exclusion Net in Nectarine Orchards: Effectiveness against Pests and Impact on Beneficial Arthropods, Postharvest Rots and Fruit Quality. *Insects*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/insects12030210>
23. Candian, V., Pansa, M. G., Santoro, K., Spadaro, D., Tavella, L., and Tedeschi, R. 2020. Photosensitive exclusion netting in apple orchards: effectiveness against pests and impact on beneficial arthropods, fungal diseases and

- fruit quality. *Pest Management Science*, 76(1), 179-187. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ps.5491>
24. Candian, V., Pansa, M., Briano, R., Cristiana, P., Tedeschi, R., and Tavella, L. 2018. Exclusion nets: a promising tool to prevent *Halyomorpha halys* from damaging nectarines and apples in NW Italy. *Bulletin of Insectology*, 71.
  25. Castellano, S., Scarascia-Mugnozza, G., Russo, G., Briassoulis, D., Mistriotis, A., Hemming, S., and Waaijenberg, D. 2008. Plastic Nets in Agriculture: A General Review of Types and Applications. *Applied Engineering in Agriculture* 24 (2008) 6, 24. <https://doi.org/10.13031/2013.25368>
  26. Chiel, E., Messika, Y., Steinberg, S., and Antignus, Y. 2006. The Effect of UV-absorbing Plastic Sheet on the Attraction and Host Location Ability of Three Parasitoids: *Aphidius colemani*, *Diglyphus isaea* and *Eretmocerus mundus*. *BioControl*, 51(1), 65-78. <https://doi.org/10.1007/s10526-005-8667-z>
  27. Chouinard, G., Firlej, A., and Cormier, D. 2016. Going beyond sprays and killing agents: Exclusion, sterilization and disruption for insect pest control in pome and stone fruit orchards. *Scientia Horticulturae*, 208, 13-27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.014>
  28. Chouinard, G., Veilleux, J., Pelletier, F., Larose, M., Phillion, V., and Cormier, D. 2017. Impact of exclusion netting row covers on arthropod presence and crop damage to 'Honeycrisp' apple trees in North America: A five-year study. *Crop Protection*, 98, 248-254. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.04.008>
  29. Chyzik, R., Dobrinin, S., and Antignus, Y. 2003. Effect of a UV-deficient environment on the biology and flight activity of *Myzus persicae* and its hymenopterous parasite *Aphidius matricariae*. *Phytoparasitica*, 31(5), 467-477. <https://doi.org/10.1007/BF02979740>
  30. Cormier, D., Veilleux, J., and Firlej, A. 2015. Exclusion net to control spotted wing *Drosophila* in blueberry fields. *IOBC-WPRS Bulletin*, 109, 181-184.
  31. Corvalán, N., Bastías, R., Umanzor, C., and Serra Stepke, I. 2016. Grapevine root and shoot growth responses to photoselective nets: preliminary results. *Acta Horticulturae*, 89-94.
  32. Cottrell, R. S., Nash, K. L., Halpern, B. S., Remenyi, T. A., Corney, S. P., Fleming, A., Fulton, E. A., Hornborg, S., Johne, A., Watson, R. A., and Blanchard, J. L. 2019. Food production shocks across land and sea. *Nature Sustainability*, 2(2), 130-137. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0210-1>
  33. Cronin, T. W., and Bok, M. J. 2016. Photoreception and vision in the ultraviolet. *Journal of Experimental Biology*, 219(18), 2790-2801. <https://doi.org/10.1242/jeb.128769>

34. Dáder, B., Plaza, M., Fereres, A., and Moreno, A. 2015. Flight behaviour of vegetable pests and their natural enemies under different ultraviolet-blocking enclosures. *Annals of Applied Biology*, 167(1), 116-126.
35. de Bon, H., Huat, J., Parrot, L., Sinzogan, A., Martin, T., Malézieux, E., and Vayssières, J.-F. 2014. Pesticide risks from fruit and vegetable pest management by small farmers in sub-Saharan Africa. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4), 723-736. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0216-7>
36. Diabate, S., Martin, T., Murungi, L. K., Fiaboe, K. K. M., Wesonga, J., Kimani, J. M., and Deletre, E. 2021. Push-pull strategy combined with net houses for controlling cowpea insect pests and enhancing crop yields. *Crop Protection*, 141, 105480. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105480>
37. Díaz, B. M., and Fereres, A. 2007. Ultraviolet-blocking materials as a physical barrier to control insect pests and plant pathogens in protected crops.
38. Dib, H., Sauphanor, B., and Capowiez, Y. 2010. Effect of codling moth exclusion nets on the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea*, and its control by natural enemies. *Crop Protection*, 29(12), 1502-1513. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.08.012>
39. do Amarante, C. V. T., Steffens, C. A., and Argenta, L. C. 2011. Yield and fruit quality of 'Gala' and 'Fuji' apple trees protected by white anti-hail net. *Scientia Horticulturae*, 129(1), 79-85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.010>
40. Döring, T. F., and Chittka, L. 2007. Visual ecology of aphids—a critical review on the role of colours in host finding. *Arthropod-Plant Interactions*, 1(1), 3-16. <https://doi.org/10.1007/s11829-006-9000-1>
41. Enjin, A. 2017. Humidity sensing in insects—from ecology to neural processing. *Current Opinion in Insect Science*, 24, 1-6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.08.004>
42. Evans, L. J., Cutting, B. T., Jochym, M., Janke, M. A., Felman, C., Cross, S., Jacob, M., and Goodwin, M. 2019. Netted crop covers reduce honeybee foraging activity and colony strength in a mass flowering crop. *Ecology and Evolution*, 9(10), 5708-5719. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ece3.5154>
43. FAO. 2012. World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-ap106e.pdf>
44. Fei, C., Jägermeyr, J., McCarl, B., Contreras, E. M., Mutter, C., Phillips, M., Ruane, A. C., Sarofim, M. C., Schultz, P., and Vargo, A. 2023. Future climate change impacts on U.S. agricultural yields, production, and market. *Anthropocene*, 42, 100386.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ancene.2023.100386>

45. Fennell, J. T., Fountain, M. T., and Paul, N. D. 2019. Direct effects of protective cladding material on insect pests in crops. *Crop Protection*, 121, 147-156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.04.003>
46. Fennell, J. T., Wilby, A., Sobeih, W., and Paul, N. D. 2020. New understanding of the direct effects of spectral balance on behaviour in *Myzus persicae*. *Journal of Insect Physiology*, 126, 104096. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2020.104096>
47. Fornasiero, D., Scaccini, D., Lombardo, V., Galli, G., and Pozzebon, A. 2023. Effect of exclusion net timing of deployment and color on *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) infestation in pear and apple orchards. *Crop Protection*, 172, 106331. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106331>
48. Gan, T. Y., Ito, M., Hülsmann, S., Qin, X., Lu, X. X., Liong, S. Y., Rutschman, P., Disse, M., and Koivusalo, H. 2016. Possible climate change/variability and human impacts, vulnerability of drought-prone regions, water resources and capacity building for Africa. *Hydrological Sciences Journal*, 61(7), 1209-1226. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1057143>
49. Gao, H., Tian, H., Zhang, Z., and Xia, X. 2022. Warming-induced greenhouse gas fluxes from global croplands modified by agricultural practices: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 820, 153288. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153288>
50. García, F., Simón, I., Lidón, V., Manera, F. J., Simón-Grao, S., Pérez-Pérez, J. G., and Gimeno, V. 2015. Shade screen increases the vegetative growth but not the production in 'Fino 49' lemon trees grafted on *Citrus macrophylla* and *Citrus aurantium* L. *Scientia Horticulturae*, 194, 175-180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.005>
51. Giannoulis, A., Briassoulis, D., Papardaki, N.-G., and Mistriotis, A. 2021. Evaluation of insect-proof agricultural nets with enhanced functionality. *Biosystems Engineering*, 208, 98-112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.05.012>
52. Godde, C. M., Mason-D'Croz, D., Mayberry, D. E., Thornton, P. K., and Herrero, M. 2021. Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. *Global Food Security*, 28, 100488.
53. Goodwin, I., McClymont, L., Turpin, S., and Darbyshire, R. 2018. Effectiveness of netting in decreasing fruit surface temperature and sunburn damage of red-blushed pear. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 46(4), 334-345. <https://doi.org/10.1080/01140671.2018.1432492>
54. Guo, H., Xia, Y., Jin, J., and Pan, C. 2022. The impact of climate change on the

efficiency of agricultural production in the world's main agricultural regions. *Environmental Impact Assessment Review*, 97, 106891.

55. Hannigan, S., Nendel, C., and Krull, M. 2023. Effects of temperature on the movement and feeding behaviour of the large lupine beetle, *Sitona gressorius*. *Journal of Pest Science*, 96(1), 389-402. <https://doi.org/10.1007/s10340-022-01510-7>
56. Houle, J., and van Breugel, F. 2023. Near-surface wind variability over spatiotemporal scales relevant to plume tracking insects. *Physics of Fluids*, 35(5). <https://doi.org/10.1063/5.0147945>
57. Iglesias, I., and Alegre, S. 2006. The effect of anti-hail nets on fruit protection, radiation, temperature, quality and profitability of 'Mondial Gala' apples. *J. Appl. Hortic.*, 8, 91-100. <https://doi.org/10.37855/jah.2006.v08i02.22>
58. Ilić, Z. S., and Fallik, E. 2017. Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 139, 79-90. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.006>
59. Jiménez, O. R., Bornemann, A. C., Medina, Y. E., Romero, K., and Bravo, J. R. 2023. Prospects of biological inputs as a measure for reducing crop losses caused by climate change effects. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100689. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100689>
60. Jutamane, K., and Onnom, S. 2016. Improving photosynthetic performance and some fruit quality traits in mango trees by shading. *Photosynthetica*, 54(4), 542-550. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0210-1>
61. Kabir, M. Y., Nambeesan, S. U., Bautista, J., and Díaz-Pérez, J. C. 2022. Plant water status, plant growth, and fruit yield in bell pepper (*Capsicum annum* L.) under shade nets. *Scientia Horticulturae*, 303, 111241. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111241>
62. Kalcsits, L., Musacchi, S., Layne, D. R., Schmidt, T., Mupambi, G., Serra, S., Mendoza, M., Asteggiano, L., Jarolmasjed, S., Sankaran, S., Khot, L. R., and Espinoza, C. Z. 2017. Above and below-ground environmental changes associated with the use of photoselective protective netting to reduce sunburn in apple. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237-238, 9-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.01.016>
63. Karbassioon, A., Yearlsey, J., Dirilgen, T., Hodge, S., Stout, J. C., and Stanley, D. A. 2023. Responses in honeybee and bumblebee activity to changes in weather conditions. *Oecologia*, 201(3), 689-701.
64. Karki, S., Burton, P., and Mackey, B. 2020. The experiences and perceptions of farmers about the impacts of climate change and variability on crop production: a review. *Climate and Development*, 12(1), 80-95.

<https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1603096>

65. Kelderer, M., Casera, C., Lardscheider, E., and Rainer, A. (2010). Controlling codling moth with different netting structures and their influence on crop yield and quality.
66. Kendall, L. K., Evans, L. J., Gee, M., Smith, T. J., Gagic, V., Lobaton, J. D., Hall, M. A., Jones, J., Kirkland, L., Saunders, M. E., Sonter, C., Cutting, B. T., Parks, S., Hogendoorn, K., Spurr, C., Gracie, A., Simpson, M., and Rader, R. 2021. The effect of protective covers on pollinator health and pollination service delivery. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 319, 107556. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107556>
67. Kigathi, R., and Poehling, H.-M. 2012. UV-absorbing films and nets affect the dispersal of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Applied Entomology*, 136(10), 761-771. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2012.01707.x>
68. Kiprijanovski, M., Gjamovski, V., and Arsov, T. 2016. The effects of anti-hail net in protection of pear orchard after hailstorm occurrence.
69. Knoch, S., Pelletier, F., Larose, M., Chouinard, G., Dumont, M.-J., and Tavares, J. R. 2020. Surface modification of PLA nets intended for agricultural applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 598, 124787.
70. Kührt, U., Samietz, J., and Dorn, S. 2006. Effect of plant architecture and hail nets on temperature of codling moth habitats in apple orchards. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 118(3), 245-259.
71. Kumar, P., and Poehling, H.-M. 2006. UV-blocking Plastic Films and Nets Influence Vectors and Virus Transmission on Greenhouse Tomatoes in the Humid Tropics. *Environmental Entomology*, 35, 1069-1082. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.4.1069>
72. Lehardt, F., and Desplan, C. 2017. Retinal perception and ecological significance of color vision in insects. *Current Opinion in Insect Science*, 24, 75-83. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.09.007>
73. Lee, T.-C., Zhong, P.-J., and Chang, P.-T. 2015. The effects of preharvest shading and postharvest storage temperatures on the quality of 'Ponkan' (*Citrus reticulata* Blanco) mandarin fruits. *Scientia Horticulturae*, 188, 57-65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.016>
74. Legarrea, S., Karnieli, A., Fereres, A., and Weintraub, P. G. 2010. Comparison of UV-absorbing Nets in Pepper Crops: Spectral Properties, Effects on Plants and Pest Control. *Photochemistry and Photobiology*, 86(2), 324-330. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2009.00657.x>
75. Legarrea, S., Velázquez, E., Aguado, P., Fereres, A., Morales, I., Rodríguez, D.,

- Del Estal, P., and Viñuela, E. 2014. Effects of a photoselective greenhouse cover on the performance and host finding ability of *Aphidius ervi* in a lettuce crop. *BioControl*, 59(3), 265-278. <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9564-0>
76. Legarrea, S., Weintraub, P. G., Plaza, M., Viñuela, E., and Fereres, A. 2012. Dispersal of aphids, whiteflies and their natural enemies under photoselective nets. *BioControl*, 57(4), 523-532. <https://doi.org/10.1007/s10526-011-9430-2>
77. Li, W., Liu, M., Chen, K., Zhang, J., Xue, T., Cheng, Z., Zhang, B., Zhang, K., and Fang, Y. 2022. The roles of different photoselective nets in the targeted regulation of metabolite accumulation, wine aroma and sensory profiles in warm viticulture regions. *Food Chemistry*, 396, 133629. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133629>
78. Lulane, E. B., Dziki, S., Volschenk, T., Lötze, E., and Midgley, S. J. E. 2022. Quantifying water saving benefits of fixed white protective netting in irrigated apple orchards under Mediterranean-type climate conditions in South Africa. *Scientia Horticulturae*, 305, 111439. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111439>
79. Mahmood, A., Hu, Y., Tanny, J., and Asante, E. A. 2018. Effects of shading and insect-proof screens on crop microclimate and production: A review of recent advances. *Scientia Horticulturae*, 241, 241-251. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.078>
80. Mahmood, R., Qasim, M., Bukhari, S. A., & Shaheen, T. (2014). Chapter 6 - Bt Crops: A Sustainable Approach towards Biotic Stress Tolerance. In P. Ahmad & S. Rasool (Eds.), *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance* (pp. 125-142). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800876-8.00006-0>
81. Manja, K., and Aoun, M. 2019. The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. *Scientia Horticulturae*, 246, 110-122. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.050>
82. Marshall, A. T., and Beers, E. H. 2021. Efficacy and Nontarget Effects of Net Exclusion Enclosures on Apple Pest Management. *Journal of Economic Entomology*, 114(4), 1681-1689. <https://doi.org/10.1093/jee/toab094>
83. Marshall, A. T., and, E. H. 2022. Exclusion netting affects apple arthropod communities. *Biological Control*, 165, 104805. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104805>
84. McCaskill, M. R., McClymont, L., Goodwin, I., Green, S., and Partington, D. L. 2016. How hail netting reduces apple fruit surface temperature: A microclimate and modelling study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 226-227, 148-160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.017>

85. McDougall, P. 2018. Evolution of the crop protection industry since 1960. Phillips McDougall, Midlothian, UK.
86. Mditshwa, A., Magwaza, L. S., and Tesfay, S. Z. 2019. Shade netting on subtropical fruit: Effect on environmental conditions, tree physiology and fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 256, 108556. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108556>
87. Miranda, M. P., Dos Santos, F. L., Felipe, M. R., Moreno, A., and Fereres, A. 2015. Effect of UV-Blocking Plastic Films on Take-Off and Host Plant Finding Ability of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Journal of Economic Entomology*, 108(1), 245-251. <https://doi.org/10.1093/jee/tou036>
88. Mirzabaev, A., Bezner Kerr, R., Hasegawa, T., Pradhan, P., Wreford, A., Cristina Tirado von der Pahlen, M., and Gurney-Smith, H. 2023. Severe climate change risks to food security and nutrition. *Climate Risk Management*, 39, 100473. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100473>
89. Morandi, B., Zibordi, M., Losciale, P., Manfrini, L., Pierpaoli, E., and Grappadelli, L. C. 2011. Shading decreases the growth rate of young apple fruit by reducing their phloem import. *Scientia Horticulturae*, 127(3), 347-352. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.11.002>
90. Morandin, L., Laverty, T., Gegear, R., and Kevan, P. 2002. Effect of greenhouse polyethelene covering on activity level and photo-response of bumble bees. *Canadian Entomologist - CAN ENTOMOL*, 134, 539-549. <https://doi.org/10.4039/Ent134539-4>
91. Mu, J. E., Sleeter, B. M., Abatzoglou, J. T., and Antle, J. M. 2017. Climate impacts on agricultural land use in the USA: the role of socio-economic scenarios. *Climatic Change*, 144(2), 329-345. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2033-x>
92. Mukherjee, A., Knoch, S., Chouinard, G., Tavares, J. R., and Dumont, M.-J. 2019. Use of bio-based polymers in agricultural exclusion nets: A perspective. *Biosystems Engineering*, 180, 121-145. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.01.017>
93. Mupambi, G., Anthony, B. M., Layne, D. R., Musacchi, S., Serra, S., Schmidt, T., and Kalcsits, L. A. 2018. The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: A review. *Scientia Horticulturae*, 236, 60-72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.014>
94. Nelson, S. G. A., Klodd, A. E., and Hutchison, W. D. 2023. Hail netting excludes key insect pests and protects from fruit damage in a commercial Minnesota apple orchard. *Journal of Economic Entomology*, toad197. <https://doi.org/10.1093/jee/toad197>

95. Nicolás, E., Torrecillas, A., Amico, J. D., and Alarcón, J. J. 2005. Sap flow, gas exchange, and hydraulic conductance of young apricot trees growing under a shading net and different water supplies. *Journal of Plant Physiology*, 162(4), 439-447.
96. Normandeau, M., Samson-Robert, O., Fournier, V., and Chouinard, G. 2021. Commercial bumble bee (*Bombus impatiens*) hives under exclusion netting systems for apple pollination in orchards. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(3), 234-244.
97. Orduño, M. A., Kallas, Z., and Ornelas Herrera, S. I. (2020). Farmers' environmental perceptions and preferences regarding climate change adaptation and mitigation actions; towards a sustainable agricultural system in México. *Land Use Policy*, 99, 105031. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105031>
98. Pajač Živković, I., Cvitković, J., Jemrić, T., Fruk, M., Barić, B., and Kos, T. 2018. Exclusion nets influence on the abundance of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in apple orchards. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16. [https://doi.org/10.15666/aeer/1603\\_35173528](https://doi.org/10.15666/aeer/1603_35173528)
99. Pajač Živković, I., Jemrić, T., Fruk, M., Buhin, J., and Barić, B. 2016. Influence of different netting structures on codling moth and apple fruit damages in Northwest Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 81, 99-102.
100. Pajač Živković, I., Lemic, D., Samu, F., Kos, T., and Barić, B. 2019. Spider communities affected by exclusion nets. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17, 879-887. [https://doi.org/10.15666/aeer/1701\\_879887](https://doi.org/10.15666/aeer/1701_879887)
101. Pasek, J. E. 1988. 30. Influence of wind and windbreaks on local dispersal of insects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 22-23, 539-554. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90044-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90044-8)
102. Peavey, M., McClymont, L., Scalisi, A., and Goodwin, I. 2022. Netting of different shade factors affect light penetration, fruit and vegetative growth, yield and fruit quality in an Australian blush pear. *Scientia Horticulturae*, 299, 111001.
103. Ranjan, R., Khot, L. R., Peters, R. T., Salazar-Gutierrez, M. R., and Shi, G. 2020. In-field crop physiology sensing aided real-time apple fruit surface temperature monitoring for sunburn prediction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105558. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105558>
104. Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., and Woznicki, S. A. 2017. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145-163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>

105. Sal, J., Mason, P., Gillespie, D., Vincent, C., Velázquez, E., Legarrea, S., Aguado, P. L., Fereres, A., Morales, I., Estal, P., & Viñuela, E. 2008. Influence of UV-absorbing nets in the population of *Macrosiphum euporbiae* Thomas (Homoptera: Aphididae) and the parasitoid *Aphidius ervi* (Haliday) (Hymenoptera: Aphididae) in lettuce crops. In: Proceedings of the Third International Symposium on Biological Control of Arthropods. pp 329–337
106. Saturni, F. T., Jaffé, R., and Metzger, J. P. 2016. Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 235, 1-12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.008>
107. Sauphanor, B., Severac, G., Maugin, S., Toubon, J. F., and Capowiez, Y. 2012. Exclusion netting may alter reproduction of the codling moth (*Cydia pomonella*) and prevent associated fruit damage to apple orchards. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 145(2), 134-142. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2012.01320.x>
108. Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., and Nelson, A. 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3(3), 430-439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
109. Sharma, S., Kooner, R., and Arora, R. 2017. Insect Pests and Crop Losses. In R. Arora & S. Sandhu (Eds.), *Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture* (pp. 45-66). Springer Singapore.
110. Shimoda, M., and Honda, K.-i. 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. *Applied Entomology and Zoology*, 48(4), 413-421. <https://doi.org/10.1007/s13355-013-0219-x>
111. Sivakumar, D., Jifon, J., and Soundy, P. 2018. Spectral quality of photo-selective shade nettings improves antioxidants and overall quality in selected fresh produce after postharvest storage. *Food Reviews International*, 34(3), 290-307.
112. Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., and Lemić, D. 2021. The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests. *Insects*, 12(5), 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
113. Solomakhin, A. A., and Blanke, M. M. 2007. Overcoming adverse effects of hailnets on fruit quality and microclimate in an apple orchard. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(14), 2625-2637. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.3022>
114. Solomakhin, A., and Blanke, M. 2010. The microclimate under coloured hailnets affects leaf and fruit temperature, leaf anatomy, vegetative and reproductive growth as well as fruit colouration in apple. *Annals of Applied Biology*, 156(1), 121-136.

115. Stamps, R. H. 2009. Use of Colored Shade Netting in Horticulture. *HortScience* horts, 44(2), 239-241. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.2.239>
116. Tanny, J. 2013. Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering*, 114(1), 26-43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008>
117. Tanny, J., Cohen, S., Grava, A., Naor, A., and Lukyanov, V. 2009. The effect of shading screens on microclimate of apple orchards (Vol. 807). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.807.11>
118. Tasin, M., Demaria, D., Ryne, C., Cesano, A., Galliano, A., Anfora, G., Ioriatti, C., and Alma, A. 2008. Effect of anti-hail nets on *Cydia pomonella* behavior in apple orchards. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 129(1), 32-36. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00748.x>
119. United Nations. 2017. Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). World population prospects: the 2017 revision, key findings and advance tables. In *Working Paper No ESA/P/WP/248* (pp. 46).
120. van der Kooi, C. J., Stavenga, D. G., Arikawa, K., Belušič, G., and Kelber, A. 2021. Evolution of Insect Color Vision: From Spectral Sensitivity to Visual Ecology. *Annual Review of Entomology*, 66(1), 435-461. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-061720-071644>
121. Vidogbéna, F., Adégbidi, A., Tossou, R., Assogba-Komlan, F., Ngouajio, M., Martin, T., Simon, S., Parrot, L., and Zander, K. K. 2015. Control of vegetable pests in Benin – Farmers' preferences for eco-friendly nets as an alternative to insecticides. *Journal of Environmental Management*, 147, 95-107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.010>
122. Wachsmann, Y., Zur, N., Shahak, Y., Ratner, K., Giler, Y., Schlizerman, L., Sadka, A., Cohen, S., Garbinshikof, V., Giladi, B., and Faintzak, M. 2014. Photosensitive anti-hail netting for improved citrus productivity and quality.
123. Willden, S. A., Cox, K. D., Pritts, M. P., and Loeb, G. M. 2021. A comparison of weed, pathogen and insect pests between low tunnel and open-field grown strawberries in New York. *Crop Protection*, 139, 105388. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105388>
124. Willden, S. A., Pritts, M. P., and Loeb, G. M. 2022. The effect of plastic low tunnels on natural enemies and pollinators in New York strawberry. *Crop Protection*, 151, 105820. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105820>
125. Wu, L., Elshorbagy, A., and Helgason, W. 2023. Assessment of agricultural

adaptations to climate change from a water-energy-food nexus perspective. *Agricultural Water Management*, 284, 108343. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108343>

126. Yáñez Díaz, M. J. 2020. Impacto del uso de mallas foto-selectivas (MPS) sobre la actividad de enemigos naturales de insectos plaga.
127. Yáñez Díaz, M. J., Rodríguez, M. A., Musleh, S., Silva, G., and Lucas, E. 2021. Photo-selective nets (PSNs) affect predation by *Harmonia axyridis* on *Myzus persicae*. *Biological Control*, 164, 104780. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104780>
128. Zoratti, L., Jaakola, L., Häggman, H., and Giongo, L. 2015. Modification of Sunlight Radiation through Colored Photo-Selective Nets Affects Anthocyanin Profile in *Vaccinium* spp. Berries. *Plos One*, 10(8), e0135935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135935>

## APÉNDICE

Apéndice 1. Efectos de sistemas de malla sobre la artropofauna.

Malla	Sistema	Especies	Efecto	Referencia
Malla de exclusión (Alt'Carpo)	Exclusión incompleta	<i>Cydia pomonella</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Abundancia significativamente menor	Alaphilippe <i>et al.</i> , 2016
Malla antigranizo	Exclusión incompleta	<i>Cydia pomonella</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Menor infestación en manzanas	Baiamonte <i>et al.</i> , 2015
Malla negra y fotoselectivas	Túnel de malla	<i>Myzus persicae</i> (Hemiptera: Aphididae)	Densidad significativamente menor	Ben-Yakir y Fereres, 2016
		<i>Aphis gossypii</i> (Hemiptera: Aphididae)	Densidad significativamente menor	
		<i>Bemisa tabaci</i> (Hemiptera: Aleyrodidae)	Densidad significativamente menor	
Malla antigranizo fotoselectiva	Exclusión incompleta	<i>Grapholita molesta</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Abundancia significativamente menor	Candian <i>et al.</i> , 2021
		<i>Halyomorpha halys</i> (Hemiptera: Pentatomidae)	Abundancia significativamente menor	
		<i>Drosophila suzukii</i> (Diptera: Drosophilidae)	Abundancia significativamente menor	
		Insectos beneficiosos (Enemigos naturales)	Menor número de capturas	
Malla antigranizo fotoselectiva	Exclusión incompleta	<i>Halyomorpha halys</i> (Hemiptera: Pentatomidae)	Menor número de capturas	Candian <i>et al.</i> , 2020
			Reducción de daño en frutos	

## Apéndice 1 (cont.). Efectos de sistemas de malla sobre la artropofauna.

Malla	Sistema	Especies	Efecto	Referencia
Malla antigranizo fotoselectiva	Exclusión incompleta	<i>Drosophila suzukii</i> (Diptera: Drosophilidae)	Menor número de capturas	Candian <i>et al.</i> , 2020
Malla antigranizo fotoselectiva	Exclusión incompleta	<i>Halyomorpha halys</i> (Hemiptera: Pentatomidae)	No se encontraron individuos en trampas ubicadas bajo malla	Candian <i>et al.</i> , 2018
			Reducción de daño en frutos	
Malla de exclusión	Exclusión completa	<i>Typhlocyba pomaria</i> (Hemiptera: Cicadellidae)	Abundancia significativamente menor (exclusión)	Chouinard <i>et al.</i> , 2017
		<i>Cydia pomonella</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Reducción de daño en frutos	
		<i>Lygus lineolaris</i> (Hemiptera: Miridae)	Reducción de daño en frutos	
		<i>Rhagoletis pomonella</i> (Diptera: Tephritidae)	Reducción de daño en frutos	
		<i>Choristoneura rosaceana</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Aumento de población y daño en frutos	
Malla antigranizo (Alt'Carpo)	Exclusión completa	<i>Dysaphis plantaginea</i> (Hemiptera: Aphididae)	Abundancia significativamente menor	Dib <i>et al.</i> , 2010
		Hormigas (Hymenoptera: Formicidae)	Abundancia significativamente menor	
		Sírfidos (Diptera: Syrphidae)	Abundancia significativamente menor	
		Coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae)	Abundancia significativamente menor	

## Apéndice 1 (cont.). Efectos de sistemas de malla sobre la artropofauna.

Malla	Sistema	Especies	Efecto	Referencia
Malla antigranizo (con bloqueo UV)	Bloque de malla	<i>Apis mellifera</i> (Hymenoptera: Apidae)	Mientras el control aumentaba su número de abejas adultas bajo mallas disminuía	Evans <i>et al.</i> , 2019
			Bajo malla era tres veces más probable que las abejas no volvieran luego del primer viaje a la colmena	
			Mayor actividad en huertos descubiertos (tasa de visita a flores y tiempo en búsqueda de alimento)	
Mallas de exclusión blanco y negro	Exclusión completa	<i>Halyomorpha halys</i> (Hemiptera: Pentatomidae)	Mayores niveles de infestación y daños bajo malla blanca que negra	Fornasiero <i>et al.</i> , 2023
Malla antigranizo	Exclusión incompleta	<i>Cydia pomonella</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Reducción de daño en frutos	Kelderer <i>et al.</i> , 2010
Malla de exclusión	Exclusión incompleta	<i>Eriosoma lanigerum</i> (Hemiptera: Eriosomatidae)	Aumento en su abundancia en hasta cien veces	Marshall y Beers, 2022
		<i>Aphelinus mali</i> (Hymenoptera: Aphelinidae)	Aumento en su abundancia bajo mallas, hasta cinco veces mayores	
		Crisopas (Neuroptera: Chrysopidae)	Menor densidad, excluidas por la malla	
		Sírfidos (Diptera: Syrphidae)	Menor densidad, excluidas por la malla	

## Apéndice 1 (cont). Efectos de sistemas de malla sobre la artropofauna.

Malla	Sistema	Especies	Efecto	Referencia
Malla de exclusión	Exclusión incompleta	<i>Cydia pomonella</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Abundancia significativamente menor	Marshall y Beers, 2022
		Tetreníquidos (Acari: Tetranychidae)	Abundancia significativamente mayor	
Malla de exclusión	Exclusión completa	<i>Bombus impatiens</i> (Hymenoptera: Apidae)	Servicio de polinización equivalente al entregado por abejas melíferas y silvestres	Normandeau <i>et al.</i> , 2021
			No se vio afectada negativamente la movilidad y búsqueda de alimento en el entorno restringido	
Mallas de exclusión fotoselectivas	Exclusión incompleta	Escarabajos terrestres (Coleoptera: Carabidae)	Mayor abundancia de especies, en especial con malla amarilla	Pajač Živković <i>et al.</i> , 2018
Mallas de exclusión fotoselectivas	Exclusión incompleta	Arácnidos	No se afectó la abundancia, riqueza y composición de especies	Pajač Živković <i>et al.</i> , 2020
Malla de exclusión (Alt'Carpo) y antigranizo	Exclusión completa	<i>Cydia pomonella</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Reducción significativa en captura de adultos silvestres bajo malla	Sauphanor <i>et al.</i> , 2012
			Menor recaptura de machos liberados bajo malla, parte de estos fueron recapturados en control (sin malla)	

## Apéndice 1 (cont.). Efectos de sistemas de malla sobre la artropofauna.

Malla	Sistema	Especies	Efecto	Referencia
Malla antigranizo gris	Forma de techo	<i>Cydia pomonella</i> (Lepidoptera: Tortricidae)	Disminución significativa en captura de machos con hembras vírgenes y trampas de feromonas	Tasin <i>et al.</i> , 2008
			Inhibición del apareamiento	
			Reducción de daño en frutos	
Malla negra y fotoselectivas	Jaula con malla en parte superior	<i>Harmonia axyridis</i> (Coleoptera: Coccinellidae)	Tiempo de localización de presas aumentó bajo malla negra y disminuyó bajo malla perla, sin presentarse diferencias en la eficiencia de depredación	Yáñez <i>et al.</i> , 2021