



Universitat
de les Illes Balears

TRABAJO FIN DE GRADO

EVALUACIÓN DE TRAMPAS CROMÁTICAS Y TRAMPAS DE LUZ PARA EL SEGUIMIENTO DE INSECTOS EN ZONAS PERI-URBANAS DE PALMA

Juan Miguel Expósito Sáez

Grado de biología

Facultad de ciencias

Año Académico 2021-22

EVALUACIÓN DE TRAMPAS CROMÁTICAS Y TRAMPAS DE LUZ PARA EL SEGUIMIENTO DE INSECTOS EN ZONAS PERI-URBANAS DE PALMA

Juan Miguel Expósito Sáez

Trabajo de Fin de Grado

Facultad de ciencias

Universidad de las Illes Balears

Año Académico 2021-22

Palabras clave del trabajo:

Artrópodos, colores, cromotropismo, fototaxis, monitorización, plaguicida, trampas adhesivas, sistema visual.

Carlos Barceló Seguí

Se autoriza la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con fines exclusivamente académicos y de investigación

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Índice

RESUMEN	3
RESUM	3
ABSTRACT	4
1.INTRODUCCIÓN	6
2.HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	13
3.MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. ÁREA DE ESTUDIO, TRAMPAS Y DISPOSICIÓN DE ÉSTAS	13
3.2 CALENDARIZACIÓN.....	16
3.3 DETERMINACIÓN DE LOS ARTRÓPODOS.....	17
3.4 PRUEBAS ESTADÍSTICAS.....	17
4.RESULTADOS	19
5.DISCUSIÓN	26
6.CONCLUSIÓN	31
7.BIBLIOGRAFÍA	32

Resumen

Los insectos son considerados como un elemento ampliamente importante no únicamente por su función en los ecosistemas terrestres, sino también debido a su gran influencia e interacción con las sociedades humanas. Desde tiempos inmemoriales, forman parte de la alimentación, la salud, la cultura y de los agro ecosistemas. El sistema visual de los insectos a lo largo de la historia, ha ido evolucionando hasta el punto de tener la capacidad de discernir entre diferentes longitudes de onda pudiendo reconocer señales visuales complejas como por ejemplo los colores. Dependiendo de la especie de insecto, estos podrán distinguir unos colores u otros e incluso presentar fototaxia positiva o negativa hacia diferentes focos de luz. Este cromotropismo es el utilizado en las trampas adhesivas o “sticky traps” que utilizan esta preferencia para atraer a determinados grupos de insectos ya sean beneficiosos o potencialmente perjudiciales. Además, su uso en consonancia con luces Led de diferentes longitudes de onda permitirá el estudio de las preferencias cromáticas de los insectos nocturnos. El estudio y utilización de estas trampas resulta muy interesante como sustituyentes de los plaguicidas de síntesis química cuyo uso continuado acaba teniendo consecuencias catastróficas para el ecosistema y para la salud humana. Por este motivo, la determinación de las preferencias cromáticas de los grupos de insectos de estudio permitirá trazar estrategias cromáticas basadas en el uso de trampas cromotrópicas. En el presente estudio se utilizarán trampas adhesivas de color azul, rojo, amarillo y blanco así como trampas adhesivas blancas con una luz Led implementada para la caracterización de la entomofauna en zonas periurbanas. Los resultados obtenidos muestran una amplia preferencia significativa por parte de artrópodos de los órdenes Thysanoptera, Himenoptera, Hemiptera y de las familias Sciaridae y Chloropidae (Orden Diptera) hacia el color amarillo. Por otro lado, los artrópodos pertenecientes a los órdenes Drosophilidae, Coleoptera, Thysanoptera y las familia Calliphoridae (Orden Diptera) han presentado una mayor atracción por el color azul. Esto sugiere que los grupos de artrópodos del estudio presentan diferentes preferencias cromáticas sintiéndose mayormente atraídos por un color en específico siendo el color mayormente efectivo el amarillo seguido del azul a diferencia del blanco y el rojo que han presentado una menor atracción significativa hacia los grupos de artrópodos del estudio.

Resum

Els insectes són considerats com un element àmpliament important no únicament per la seva funció als ecosistemes terrestres, sinó també per la seva gran influència i interacció amb les societats humanes. Des de temps immemorials, formen part de l'alimentació, la salut, la cultura i els agro ecosistemes. El sistema visual dels insectes al llarg de la història, ha anat evolucionant fins al punt de tenir la capacitat de discernir entre diferents longituds d'ona

poguent reconèixer senyals visuals complexes com ara els colors. Depenent de l'espècie d'insecte, aquests podran distingir uns o altres colors i fins i tot presentar fototàxia positiva o negativa cap a diferents focus de llum. Aquest cromotropisme és l'utilitzat en les trampes adhesives o sticky traps que utilitzen aquesta preferència per atreure determinats grups d'insectes, ja siguin beneficiosos o potencialment perjudicials. A més, el seu ús juntament amb llums Led de diferents longituds d'ona permetrà l'estudi de les preferències cromàtiques dels insectes nocturns. L'estudi i la utilització d'aquestes trampes resulta molt interessant com a substituents dels plaguicides de síntesi química l'ús continuat dels quals acaba tenint conseqüències catastròfiques per a l'ecosistema i per a la salut humana. Per aquest motiu, la determinació de les preferències cromàtiques dels grups d'insectes d'estudi permetrà traçar estratègies cromàtiques basades en l'ús de trampes cromotròpiques. En aquest estudi s'utilitzaran trampes adhesives de color blau, vermell, groc i blanc així com trampes adhesives blanques amb una llum Led implementada per a la caracterització de l'entomofauna en zones periurbanes. Els resultats obtinguts mostren una àmplia preferència significativa per part d'artròpodes dels ordres Thysanoptera, Himenoptera, Hemiptera i de les famílies Sciaridae i Chloropidae (Ordre Diptera) cap al color groc. D'altra banda, els artròpodes que pertanyen als ordres Drosophilidae, Coleoptera, Thysanoptera i la família Calliphoridae (Ordre Diptera) han presentat una atracció més gran pel color blau. Això suggereix que els grups d'artròpodes de l'estudi presenten diferents preferències cromàtiques sentint-se majorment atrets per un color en específic i el color és més efectiu el groc seguit del blau a diferència del blanc i el vermell que han presentat una menor atracció significativa per part dels grups d'artròpodes de l'estudi.

Abstract

Insects are considered a widely important element not only because of their role in terrestrial ecosystems, but also because of their great influence and interaction with human societies. Since time immemorial, they have been part of food, health, culture and sour ecosystems. The visual system of insects throughout history has evolved to the point of having the ability to discern between different wavelengths and to recognize complex visual signals such as colors. Depending on the insect species, they can distinguish one color or another and even present positive or negative phototaxia towards different light sources. This chromotropism is used in sticky traps, which use this preference to attract certain groups of beneficial or potentially harmful insects. In addition, their use in consonance with LED lights of different wavelengths will allow the study of the chromatic preferences of nocturnal insects. The study and use of these traps is very interesting as substitutes for chemical pesticides whose continued use has catastrophic consequences for the ecosystem and for human health. For this reason, the determination of the chromatic preferences of the insect groups under study will make it

possible to design chromatic strategies based on the use of chromotropic traps. In the present study, blue, red, yellow and white sticky traps as well as white sticky traps with a LED light implemented for the characterization of entomofauna in peri-urban areas will be used. The results obtained show a significant preference of arthropods of the orders Thysanoptera, Hymenoptera, Hemiptera and the families Sciaridae and Chloropidae (Order Diptera) for the yellow color. On the other hand, arthropods belonging to the orders Drosophilidae, Coleoptera, Thysanoptera and the family Calliphoridae (Order Diptera) have shown a greater attraction to blue color. This suggests that the groups of arthropods in the study present different chromatic preferences, feeling mostly attracted to a specific color, the most effective color being yellow, followed by blue, as opposed to white and red, which have presented less significant attraction to the groups of arthropods in the study.

1.Introducción

Los artrópodos constituyen el grupo dominante en el reino animal y son una parte importante de la biodiversidad a escala mundial. Actualmente existen 1.302.809 especies descritas, que incluyen 45.769 fósiles. Los artrópodos son el grupo más exitoso, encontrándose en casi todas las regiones biogeográficas y zonas ecológicas del planeta. Dentro de este particular filo de invertebrados, la clase Insecta cuenta con 1.070.781 especies y representan por sí solos más del 80 % de todos los artrópodos. Otro grupo importante es el de los arácnidos, con 114.275 especies descritas, de las cuales 55.214 son ácaros y garrapatas. Desde los albores de la humanidad estos organismos han sido parte de la alimentación, la salud, la cultura y de los agroecosistemas no sólo como competidores, sino también como elementos pronosticadores y promotores de servicios ecosistémicos.

Los artrópodos contribuyen a la alimentación humana, polinizan los cultivos, tienen interés económico en textiles, ayudan a mantener la sostenibilidad del ecosistema al suprimir biológicamente a los artrópodos destructivos, pero causan y transmiten enfermedades a los seres humanos y al ganado y provocan pérdidas en las cosechas. Los artrópodos invasores pueden afectar negativamente a los recursos naturales. recursos naturales

Una de las especializaciones sensoriales más habituales es la capacidad de visión, habilidad que se considera que ha evolucionado de forma independiente al menos 40 veces desde la aparición de los metazoos (Schwab, 2018). La capacidad de percepción de la luz, y con ello, la interpretación neurológica de imágenes de mayor o menor complejidad en función a la estructura ocular es una de los mecanismos más eficientes de análisis del entorno. Sin embargo, la gran radiación adaptativa que ha seguido el sistema visual a lo largo de la evolución de los metazoos ha conllevado múltiples especializaciones que varían en función del clado. En el caso de los insectos, existen dos tipos de ojos: ocelos y ojos compuestos. Si bien los primeros permiten detectar variaciones en la intensidad de la luz (Mizunami, 1995), los segundos, compuestos por múltiples omatidios, unidades sensoriales compuestas por una lente y un grupo de células fotorreceptoras, denominadas como células de la retínula (Oakley, 2003) son capaces de detectar movimientos rápidos, además son capaces de ver un extenso rango de ángulos sólidos e incluso en ocasiones pueden detectar la polarización de la luz.

Una de las divergencias más habituales entre grupos es la percepción de los colores, que se entienden como las ondas de luz a diferente longitud de onda. Dicha capacidad depende de la absorción lumínica por medio de diferentes pigmentos transductores (Stavenga, 2002). En los insectos, esta capacidad de discernimiento entre colores viene dada por los mismos rhabdomeros (Zelhof *et al.*, 2006), de los que suele haber 7 u 8 en cada omatidio (Song & Lee,

2018). Sin embargo, existe una gran diversidad entre el número de fotorreceptores en función del grupo de insecto, lo que se adapta mucho a la ecología de estos animales (Huang *et al.*, 2014). De este modo, el número de tipos de fotorreceptores indica el rango de colores en el que pueden ver estos animales. Si bien por lo general la visión de los insectos presentan tres tipos de receptores distintos -a la luz ultravioleta, al azul y al verde-, esto puede divergir en base al clado (Briscoe & Chittka, 2001). Por ejemplo, mientras blatodeos como la cucaracha americana (*Periplaneta americana*) tan solo poseen dos tipos de fotorreceptores, lo que limita su visión en el rango del ultravioleta y el verde (Zhukovskaya *et al.*, 2017), un gran número de lepidópteros y odonatos presentan cuatro tipos, sumando así visión en el espectro del rojo y del verde (Peitsch *et al.*, 1992).

En el caso de los dípteros, dada su enorme radiación adaptativa, existe una cierta diferencia en el número de fotorreceptores en base a la familia (van der Kooi *et al.*, 2020). De hecho, la disposición de los componentes oculares es una de las diferencias clave entre los subórdenes de este extenso clado (Friedrich *et al.*, 2011). De este modo, la mayoría de nematóceros presentan apenas dos distintos tipos de receptores, que les permiten discernir la luz en los espectros del ultravioleta y del verde (Muir *et al.*, 1992). Por otra parte, los braquíceros poseen una gran diversidad en su número, llegando a los 5 en el caso de múscidos como la mosca doméstica (*Musca domestica*) y ciertos califóridos como *Calliphora vicina* (van der Kooi *et al.*, 2020), si bien la mayoría de sírfidos apenas presentan un pico de absorción a la luz en el espectro del azul (Lunau & Wacht, 1992). De este modo, es importante considerar las diferencias en la capacidad de diferenciación de los colores en los diferentes grupos de dípteros, para así adaptar la estrategia de captura de estos en base a su fisiología.

A su vez, el uso de luz en las trampas se justifica por la fototaxia positiva de múltiples especies hacia focos lumínicos, si bien en ciertos grupos se observa un comportamiento contrario de repulsión (Shimoda & Honda, 2013). Por lo general, los insectos nocturnos se ven atraídos hacia puntos de emisión de altas cantidades de luz ultravioleta. Este hecho se puede justificar por la alta prevalencia de fotorreceptores para dicha longitud de onda en este clado de artrópodos, tal como se indicó previamente. De hecho, se cree que muchas especies de insectos nocturnos presentan la capacidad de detectar la luz únicamente en su espectro ultravioleta (Koshitaka *et al.*, 2008).

Esta capacidad de discernir entre diferentes longitudes de onda es en la que se basa el presente estudio. El hecho de que muchos insectos muestren preferencia por determinadas longitudes de onda de la luz ha llevado a los entomólogos e investigadores del sector agrícola a desarrollar herramientas de seguimiento y estrategias de control contra muchas plagas de

insectos que explotan este comportamiento. Esta preferencia a ciertas longitudes de onda se debe a que la reflectancia espectral medible de la trampa de color afecta a la atracción de especies de insectos diurnos (Vernon & Gillepsi, 1990).

Los controles de plagas en agricultura se llevan a cabo con el objetivo de evitar pérdidas en el rendimiento de los cultivos lo que conlleva a un uso indiscriminado y continuo de insecticidas de síntesis química que generan disturbios en el agro ecosistema así como la formación de plagas resistentes a estos. Esta constante intervención humana genera inestabilidad (Franco, 2011). Aunque los plaguicidas químicos se han utilizado ampliamente para controlar los insectos plaga y las enfermedades, el creciente uso de plaguicidas supone una grave amenaza para la salud humana y el medio ambiente (Southwood, 1978). Con el fin de reducir el uso de plaguicidas químicos, muchos países se han esforzado por promover métodos y tecnologías de control de plagas ecológicas. El control físico de plagas, como el uso de trampas de luz y trampas adhesivas de colores, es uno de esos métodos que se ha aplicado ampliamente en los cultivos para vigilar y controlar las plagas en respuesta a los problemas de seguridad alimentaria en todo el mundo.

En este caso, las trampas adhesivas o “sticky traps” constituyen un método sencillo y plausible para la obtención de mediciones relativas de las poblaciones de los insectos, incluidos polinizadores, dentro de la zona de estudio. Las trampas cromotrópicas son láminas adhesivas, necesarias para detectar y vigilar las plagas en los cultivos hortícolas y ornamentales.

Estas trampas están hechas de un plástico rígido y resistente, con sus dos caras cubiertas por un pegamento seco de alta calidad, resistente al agua, sin sustancias tóxicas y resistente a las altas temperaturas. Las hojas adhesivas se entregan recubiertas de papel parafinado, para facilitar su colocación.

El conocimiento del color que atrae a los polinizadores puede ser útil para organizar la selección del color de las trampas y el momento de su colocación en los huertos frutales de la región. Muy eficientemente sirven como detector temprano de plagas, con una eficiencia mayor que el muestreo intensivo ya que recogen y fijan los insectos dentro del área de la trampa (Southwood, 1978). Añadir que éstas no sólo se centran en el control de plagas nocivas sino que también pueden ser utilizadas como una herramienta más que eficaz para el control de la presencia y ausencia de insectos beneficiosos y su número (Wallis & Shaw, 2008). Las estrategias para el control de las plagas de los invernaderos se ejecutan casi siempre sin tener en cuenta los niveles de población de la plaga en el momento de su

aplicación. Es necesario disponer de métodos precisos y eficientes en el tiempo para estimar los niveles de población de la plaga y de los artrópodos beneficiosos para maximizar la eficacia de las acciones de control y para minimizar el efecto de estas acciones sobre las especies no objetivo.

Las trampas basadas en la respuesta de los insectos al color se han aplicado ampliamente en diversos cultivos (Gerling & Horowitz, 1984; Hill & Hooper, 1984; Chandler, 1985; Meyerdirk & Oldfield, 1985). El uso de trampas pegajosas amarillas, en particular, es una herramienta considerable en términos de gestión de plagas y han sido objeto de investigación durante muchas décadas y se han incorporado a los programas de gestión de diversas plagas como la mosca blanca (Aleyrodidae), los trips (Thysanoptera), la mosca minadora de las hojas (Agromyzidae), las moscas de la costa (Ephydriidae), pulgones (Aphididae), moscas de la fruta (Tephritidae) y las moscas de los hongos (Phoridae) en una serie de cultivos. En particular, el color amarillo además se consideró eficaz para atrapar a los himenópteros (Thomson *et al.*, 2004). En los invernaderos, se han convertido en un componente clave de los programas de monitoreo de varias plagas de invernaderos (Steiner *et al.*, 1999; Kaas, 2005; Park *et al.*, 2011).

Además, las trampas tienen el potencial de suprimir las poblaciones de adultos por sí solas o en combinación con otras estrategias de control, como el control biológico (Yano, 1987; Gu *et al.*, 2008) o los cultivos trampa (Moreau, 2010; Moreau & Isman, 2011). Las densidades de las plagas se monitorean indirectamente desde el cultivo, utilizando las capturas de las trampas como una indicación de la densidad de la plaga en la planta. Por lo tanto, la determinación de la relación entre las capturas en trampas de la plaga con su número en el cultivo y las pérdidas de rendimiento relacionadas son fundamentales para tomar decisiones de control correctas. A pesar del hecho de que las trampas se han utilizado ampliamente con varias ventajas para los productores, como el bajo coste y la baja demanda de formación, el desarrollo de herramientas de toma de decisiones basadas en las trampas (por ejemplo, los protocolos de muestreo y los umbrales económicos) ha sido bastante limitado.

Sin embargo, el mayor coste del muestreo no reside en el gasto de capital en trampas, sino en el tiempo asociado a la clasificación e identificación de los insectos capturados (Taylor, 1979). Este coste reduce la viabilidad y el uso de las trampas adhesivas en los programas de gestión de plagas. La captura masiva de insectos beneficiosos o no objetivo mediante trampas adhesivas puede tener otros efectos negativos, como la reducción de su número, lo que conduce a un aumento del número de plagas (Mondor, 1995).

Algunas personas consideran que las trampas adhesivas son una herramienta pobre e inconsistente para estimar la densidad de las plagas en las plantas y, por tanto, no son adecuadas para la toma de decisiones en condiciones de campo (Palumbo *et al.*, 1995; Naranjo *et al.*, 1995). Sin embargo, según Gerling (1990), en invernaderos son consideradas como una de las técnicas de muestreo más eficientes, y por ende, muy útiles como herramientas de toma de decisiones, una vez que se determinen sus lugares óptimos de colocación para una especie y un cultivo determinados. Es posible que en el entorno de los invernaderos, las trampas adhesivas sean una herramienta más potente que en el campo para la toma de decisiones, ya sea solas o en combinación con otras técnicas .

Por otro lado, la luz afecta el comportamiento y el desarrollo de los insectos de variadas formas, que pueden ser clasificadas en las siguientes categorías: a) fototaxis positiva, si el insecto es atraído a la fuente de luz, como sucede con muchos insectos nocturnos; b) fototaxis negativa, si el insecto es repelido por la luz, como ocurre con las cucarachas domésticas; c) adaptación a la luz, cuando el insecto nocturno expuesto a la luz permanece quieto, como si fuese de día; d) alteración del ritmo circadiano, donde las actividades diarias como vuelo, locomoción o cortejo se ven afectadas; e) alteración de la fotoperiodicidad, cuando las respuestas fisiológicas, como la dormancia, se ven afectadas al cambiar la duración del día, provocada por la iluminación artificial; f) toxicidad lumínica, que se produce cuando las retinas del insecto son dañadas por luz UV o azul, inhabilitándolos para moverse y sobrevivir; g) invisibilidad, que se logra al cubrir objetos o plantas con ciertos plásticos que bloquean la luz UV, y h) alteración de la orientación, que se produce al percibir el reflejo de la luz desde superficies cubiertas con plástico u otro material reflectante. En este último punto puede agregarse el efecto que tienen las superficies reflectantes sobre insectos que buscan espejos de agua (lagunas, charcas), ya sea para alimentarse o reproducirse.

Los seres humanos hemos aprovechado estas respuestas de los insectos a la luz, tanto en la investigación como en el control de plagas. Conocidas son las trampas de luz usadas en el muestreo de insectos y en la detección de plagas. Los mejores resultados se logran usando luz blanca fría y luz negra UV, que atraen una amplia gama de especies.

La atracción de los insectos por la luz es proverbial, y las alusiones a ella aparecen en toda la literatura, lo que demuestra que siempre ha despertado el interés y la curiosidad de la humanidad. Sin embargo, no ha recibido el tratamiento científico que merece. Es cierto que los entomólogos la han investigado en los últimos años, pero sin gran éxito. La razón de su fracaso no está lejos de ser buscada. El método adoptado al principio fue, por desgracia, el de la trampa de luz, que condujo inmediatamente a un enfoque utilitario y poco científico. La literatura que siguió, lejos de dilucidar, sólo oscureció la verdadera naturaleza del fenómeno.

Los atrayentes visuales optimizados aumentan la eficacia de las trampas para insectos utilizando los comportamientos innatos del insecto objetivo (fototaxis positiva) como medio para atraer al insecto a una trampa de control de población o de seguimiento. Los diodos emisores de luz (LED) han creado opciones de iluminación personalizadas con longitudes de onda (colores), intensidades y anchos de banda específicos, que pueden adaptarse a los insectos objetivo. Los bioensayos de comportamiento por atracción fotográfica pueden utilizar los LED para optimizar el color o los colores atractivos para una especie de insecto hasta etapas o comportamientos específicos del ciclo vital (apareamiento, alimentación o búsqueda de refugio).

Se han incorporado diodos emisores de luz (LED) a las trampas para mejorar la atracción de los insectos optimizando las longitudes de onda de la luz emitida (Briscoe *et al.* 2001, Cohnstaedt *et al.* 2008). La optimización de la atracción visual de estas trampas o dispositivos de monitorización mejorará la eficiencia de la recolección de insectos al utilizar los comportamientos innatos de los insectos para atraerlos.

Estas trampas pueden ser muy útiles en el seguimiento de diversas familias de dípteros de importancia sanitaria. Los dípteros desempeñan un papel fundamental en el ciclo de los nutrientes en los ecosistemas terrestres, ya que aceleran la descomposición de los tejidos animales, lo que facilita la acción de los microorganismos descomponedores (Savage, 2002). Varias de sus especies tienen importancia médica y veterinaria, ya que causan miasis (James 1947; Smith 1986) y se consideran vectores mecánicos y biológicos de quistes de protozoos, huevos de helmintos y patógenos bacterianos y víricos (Marchiori, 2014). Además, las moscas son sinantrópicas, ya que tienen una estrecha relación con el entorno humano. Por lo general, las moscas se alimentan de alimentos y desechos humanos, donde pueden recoger y transportar diversos agentes patógenos. Un ejemplo es la mosca doméstica (*Musca domestica* L.), perteneciente a la familia Muscidae, ha sido señalada como vector mecánico de más de 65 enfermedades gastrointestinales humanas y animales, causadas por infecciones protozoarias (disenterías amebianas), bacterianas (shigelosis, salmonelosis y cólera) y helmínticas (lombrices redondas, anquilostomas, oxiuros y tenias), así como virales y rickettsias (Marchiori, 2014).

Otro ejemplo muy estudiado es el del orden Thysanoptera o comúnmente conocidos como trips. Estos están reconocidos como una gran amenaza en la agricultura. Se sabe que dañan las plantas jóvenes e inmaduras debido a su naturaleza perforadora y chupadora, y también actúan como vectores de enfermedades víricas, lo que constituye un problema secundario.

En ellos se ha visto un papel primordial de los estímulos visuales y químicos para la localización de las plantas huésped (Prokopy & Owens, 1983) de manera que el desarrollo de trampas con colores atractivos para estos puede ser determinante para el control de esta plaga. Según Yudin *et al.* (1987) los colores utilizados en las trampas de color para el manejo de los trips deberían mostrar una correlación alta entre los recuentos de los trips atrapados y las poblaciones reales en el campo para resultar en una estrategia efectiva para su erradicación. Sin embargo, en la actualidad pocos estudios han intentado relacionar los recuentos de insectos en trampas de color y el nivel de infestación de los cultivos circundantes (Lewis, 1997; Wickramarachchi, 2004).

En el presente estudio se utilizarán trampas adhesivas para el muestreo de insectos en zonas periurbanas. Además, se utilizarán trampas adhesivas en combinación con luces Led para la captura de insectos nocturnos.

2.Hipótesis y objetivos

Hipótesis:

- El color de la trampa determinará el grupo de artrópodos que hay en la misma.
- Los insectos se verán atraídos de forma diferencial según el color de la trampa.
- La media de insectos será significativamente diferente al comparar los colores de las trampas.
- Las trampas de luz atraerán mayoritariamente y primordialmente a insectos con un comportamiento nocturno.

Objetivos:

- Análisis y determinación de la entomofauna característica de zonas periurbanas de Palma.
- Caracterizar las preferencias cromáticas presentadas por los insectos de la zona.
- Evaluar la eficacia de atracción de cada uno de los colores hacia las múltiples familias y órdenes de insectos.
- Evaluar el efecto de las trampas adhesivas como método de muestreo de grupos de insectos de estudio.

3.Materiales y métodos

3.1.Área de estudio, trampas y disposición de estas

La totalidad de la fase experimental se realizó en la parcela de “Cas Valencià” situada en Mallorca en las inmediaciones de la Universitat de les Illes Balears, ubicada en el término municipal de Palma en las afueras (UTM: 39°38'08"N 2°38'35"E). La parcela en cuestión es utilizada en numerosos estudios realizados por el área de ecología y zoología de la universidad.

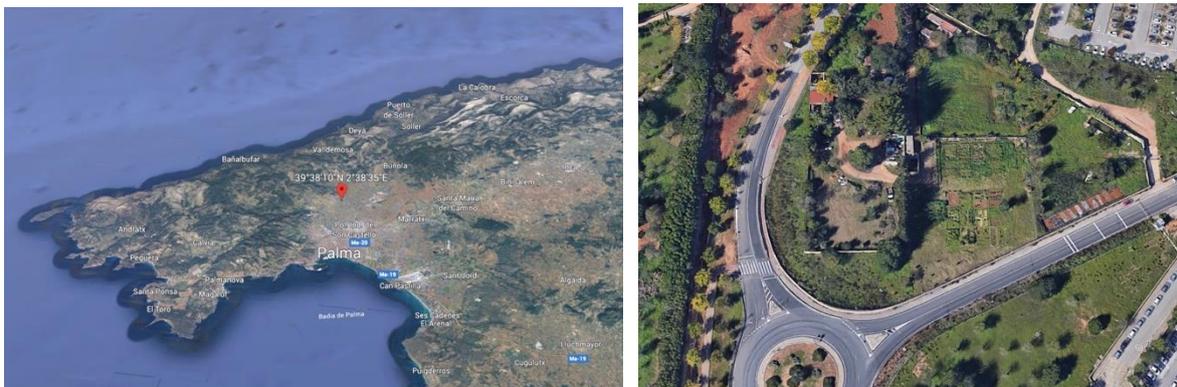


Figura 1: Ubicación aproximada de la zona de estudio y de posición de las trampas. Fuente: Google Earth.

Para el muestreo de insectos se utilizaron por un lado trampas cromáticas de 4 colores diferentes: rojo, amarillo, blanco y azul. Las dimensiones de las trampas son de 20x25 cm. Tras un análisis de la parcela, se decidió poner las trampas en los 4 ejes de un árbol de la especie *Ficus carica* considerado un punto de convergencia para múltiples insectos. Las trampas se colgaron de ramas situadas a una altura similar de aproximadamente 1,5m en su eje correspondiente con la ayuda de dos alambres de hierro. Una vez colocadas las trampas se retiró el plástico protector de las trampas por solo una de sus caras.



Figura 2: imagen donde se observa la colocación de una de las trampas (en este caso la de color blanco) en el árbol.



Figura 3: vista global del *Ficus carica* en el que se colgaron semanalmente las trampas para el estudio.

Para no variar por error la zona de muestreo, se colocó un alambre en las ramas utilizadas para colocar las trampas semanalmente en el mismo lugar con exactitud. Transcurrida una semana de la colocación de las trampas, se procede a cambiar las trampas por otras nuevas, rotularlas correctamente con la fecha de su retirada y a envolverlas con una capa de papel transparente para su posterior análisis en el laboratorio. Estas trampas fueron conservadas a 4°C en una nevera genérica en el laboratorio de zoología.

Para evitar que la variable eje del árbol en el que se colocó el color de la trampa influya en el estudio, en cada uno de los recambios se rotaba la posición de cada una de las trampas de colores. De esta manera, cada uno de los 4 colores utilizados se habrá posicionado en cada uno de los 4 ejes del árbol designados para el estudio. Esta rotación se realizaba en sentido anti horario. Así la única variable influyente es nuestra variable de estudio que es el color de la trampa.

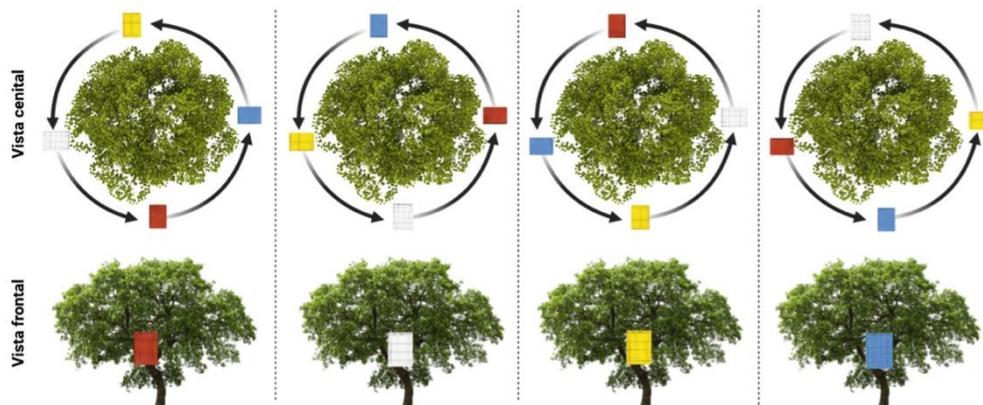


Figura 4: esquema de la rotación realizada en el muestreo del estudio.

Por otro lado, las trampas de luz consistían en trampas cromáticas de color blanco a las que se les implementó una luz programable resistente al agua en el centro de la trampa. Para ello se recortó un círculo con las dimensiones de la luz en el centro de la trampa para poder colocarla. Paralelamente a esto, se añadió un trozo de velcro en la luz a implementar para así poder adherirla a un velcro auxiliar situado en un cuadrado de cartón adherido en el reverso de la trampa.



Figuras 5 y 6: imagen de las luces implementadas a las trampas blancas para la formación de trampas luminosas y foto de su resultado tras el montaje.

Las trampas de luz se ubicaron colgadas de una valla de hierro separadas por 1m aproximado de distancia entre ellas dentro de la parcela permitiendo que los diferentes insectos pudieran diferenciar la luz de cada trampa evitando así que su caída en la trampa fuera más bien por factores aleatorios. Una vez colgadas con ayuda de dos trozos de alambre de hierro, se programaba el color de la luz deseada. En este caso, los colores utilizados fueron azul, rojo, amarillo y blanco, siendo iguales que los utilizados en las trampas cromáticas sin luz. Estas trampas, al ir destinadas a la atracción de insectos nocturnos, se retiraban al día siguiente de su colocación para evitar la atracción de insectos diurnos. Una vez transcurrido el tiempo, al igual que con las trampas sin luz, se retiraban, rotulaban y se les colocaba una capa de papel transparente para su posterior determinación y conservación en el laboratorio.

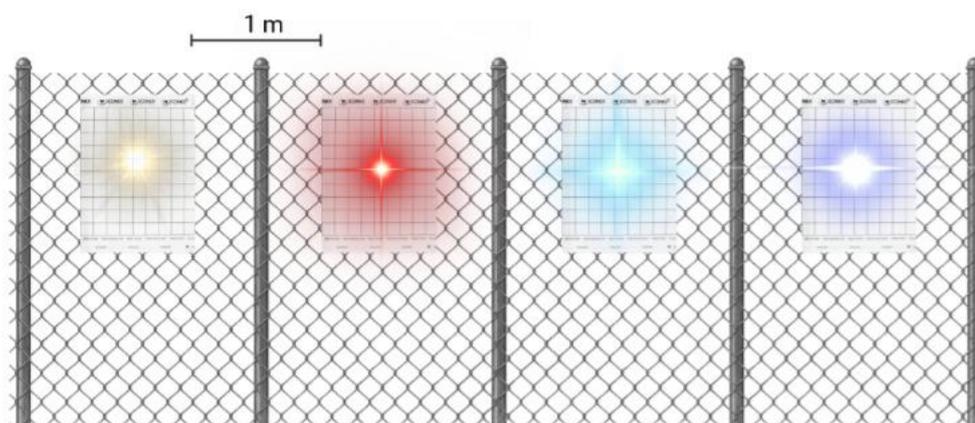


Figura 7: Esquema de la colocación de las trampas de luz en el estudio.

Al igual que con las trampas cromáticas sin luz, en cada recambio se rotaba el orden en que se posicionaba la luz de la trampa para evitar que la posición en que se situaba el color en la valla influyera en el estudio.

Para ambos tipos de trampas se realizaron 4 muestreos diferentes de manera que al final de la fase experimental se obtuvieron 4 trampas para los cuatro colores designados y 4 trampas blancas para cada uno de los colores de luz programados.

3.2. Calendarización

El inicio de los muestreos para las trampas cromáticas comenzó el día 11/4/22 y finalizó día 9/5/22. Las trampas se colocaban de forma semanal, decidiéndose que se pondrían los lunes y se recogerían al lunes siguiente.

Los muestreos para las trampas lumínicas comenzaron día 18/4/22 y finalizó día 13/5/22. Estas trampas se colocaban de forma semanal. Se colocaban entre las 20:00 y las 21:00 de la tarde, para reducir al máximo la captura de insectos diurnos, y se recogían al día siguiente entre las 8:00 y las 9:00. Se planeó la realización de los muestreos los lunes al igual que las trampas cromáticas, pero tras el primer muestreo se cambió el día a los jueves debido a condiciones meteorológicas adversas.



Figura 8: calendario que indica los días de muestreo de ambos tipos de trampas. En amarillo se encuentran los días en que se pusieron las trampas cromáticas y en morado los días en que se pusieron las trampas de luz.

3.3. Determinación de los artrópodos capturados

La determinación de los artrópodos se llevó a cabo a la lupa de la marca Zeiss modelo Stemi 2000 en el laboratorio de zoología en el área de entomología. Se determinaron todos los insectos incluidos en la trampa a nivel de orden con la ayuda del libro “Guía de campo de los insectos” escrito por Heiko Bellmann principalmente además de las claves de determinación genéricas. En caso de tratarse de dípteros, debida a su amplia diversidad y frecuencia, se ampliaba la determinación hasta nivel de familia en caso de ser posible. Los datos se fueron añadiendo a un documento Excel para la posterior realización de pruebas estadísticas y resultados.

3.4.Pruebas estadísticas

Los resultados se presentaron en tablas donde se dividieron las tablas de dípteros debido a su gran presencia y afluencia en el estudio, y una tabla donde se incluían el resto de insectos encontrados en el estudio.

Para el análisis estadístico y comparación de los resultados obtenidos en las diversas trampas, se utilizó el programa R estudio. En el se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía o ANOVA de un factor en el que se comparaba la media de insectos de un grupo concreto caídos en los cuatro colores.

En este caso tenemos nuestra variable independiente cualitativa que es el color de las trampas y nuestra variable dependiente cuantitativa que es el número de artrópodos de cada grupo que caen en la trampa. En el caso de que los datos utilizados tuvieran falta de normalidad se utilizó el test alternativo de Kruskal-Wallis, test no paramétrico que compara dos o más medianas en el estudio.

Estas pruebas estadísticas se realizaron en aquellos grupos que se encontraron por lo menos en tres de los cuatro colores de trampa.

Se utilizó un nivel de significación en los test estadísticos de 0.05, de manera que un nivel igual o inferior significaría que las medias en los diferentes colores difieren entre ellas.

Posterior a rechazar la hipótesis nula en favor de la alternativa negando así la igualdad de medias, se realizó un test post-hoc para poder discernir entre cuales de las cuatro medias (que representan a los cuatro colores del estudio) es que existe esta diferencia estadísticamente significativa

Finalmente se presentaron los gráficos de aquellos grupos de insectos entre los que si se he encontrado un nivel de significación entre las medias de alguno de los colores.

4.Resultados

A continuación, se mostrarán las tablas con los resultados obtenidos en el estudio por parte de las trampas cromáticas. Los resultados están divididos en dos tablas, una con los insectos que se incluyen en el orden Diptera, y otra tabla donde se incluyen el resto de artrópodos encontrados en las trampas. Aquellos que han resultado estadísticamente significativos, se presenta la media de captura del insecto en cada color en un gráfico con su desviación típica.

Tabla 1: número total de artrópodos de cada grupo encontrados en los 4 colores de trampas utilizadas. En verde se encuentran marcadas las clases y subclases, en rojo aquellos que fueron clasificados dentro de la categoría de orden y en amarillo las familias.

Número de artrópodos						
Clase	Orden	Familia	Azul	Rojo	Blanco	Amarillo
Arachnida	-	-	4	7	7	7
Acari	-	-	3	-	-	-
Insecta	Blattodea	-	-	1	-	-
Insecta	Coleoptera	-	43	10	41	17
Insecta	Ephemeroptera	-	-	1	-	-
Insecta	Hemiptera	-	5	4	7	72
Insecta	Hymenoptera	-	10	18	10	58
Insecta	Lepidoptera	-	-	-	-	1
Insecta	Psocoptera	-	24	50	29	43
Insecta	Homoptera	Aleyrodidae	-	-	5	-
Insecta	Hemiptera	Aphididae	-	1	-	3
Insecta	Hemiptera	Cicadellidae	1	1	-	102
Insecta	Coleoptera	Lampyridae	1	-	-	-
Insecta	Hemiptera	Miridae	3	-	4	3
Insecta	Coleoptera	Oedemeridae	1	-	-	-
Insecta	Thysanoptera	Thripidae	138	6	63	157

De la tabla anterior, mostraron una diferencia estadísticamente significativa los grupos siguientes: Thysanoptera, Coleoptera, Himenoptera y Hemiptera.

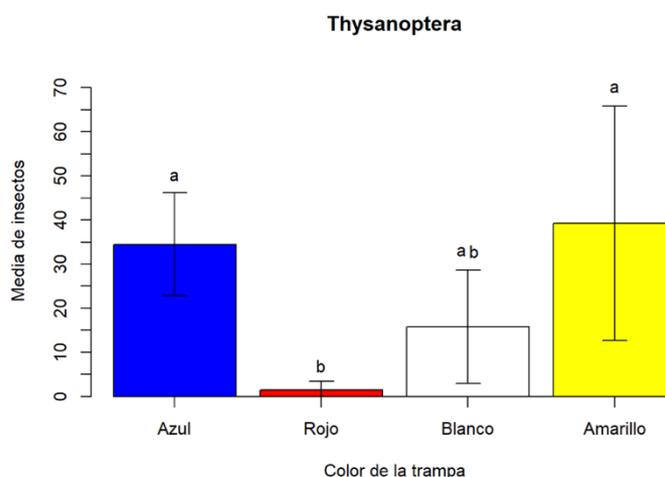


Gráfico 1: Comparación de la media del grupo Thysanoptera entre los 4 colores de estudio.

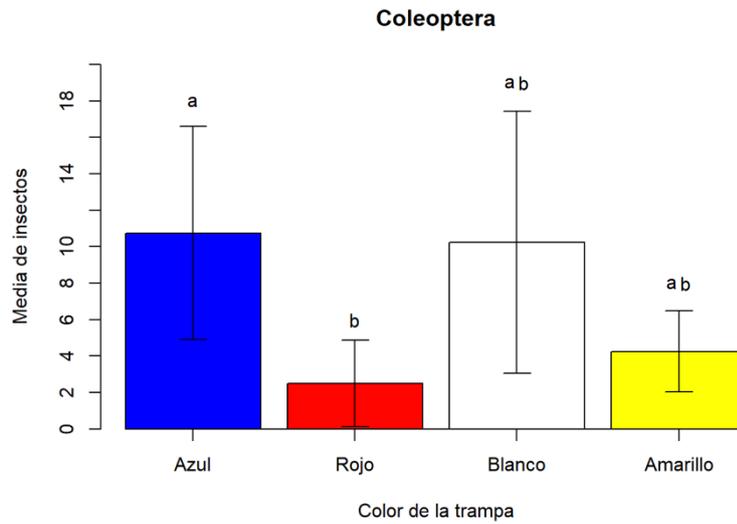


Gráfico 2: Comparación de la media del grupo Coleoptera entre los 4 colores de estudio.

Tras las pruebas estadísticas, se puede destacar que las trampas de color azul y amarillo son más eficaces que el color rojo para la captura del grupo Thysanoptera ($p\text{-value}=0,01078$). En cambio, para el grupo Coleoptera, solo el color azul es significativamente más eficaz que el color rojo ($p\text{-value}=0,0355$).

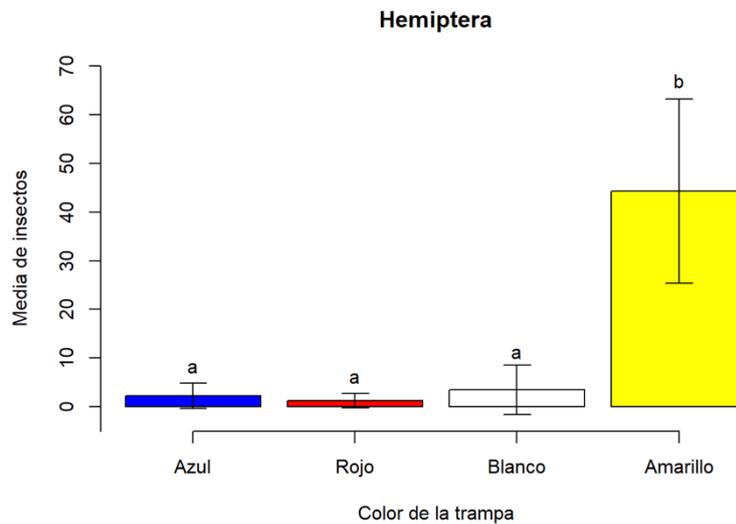


Gráfico 3: Comparación de la media del grupo Hemiptera entre los 4 colores de estudio.

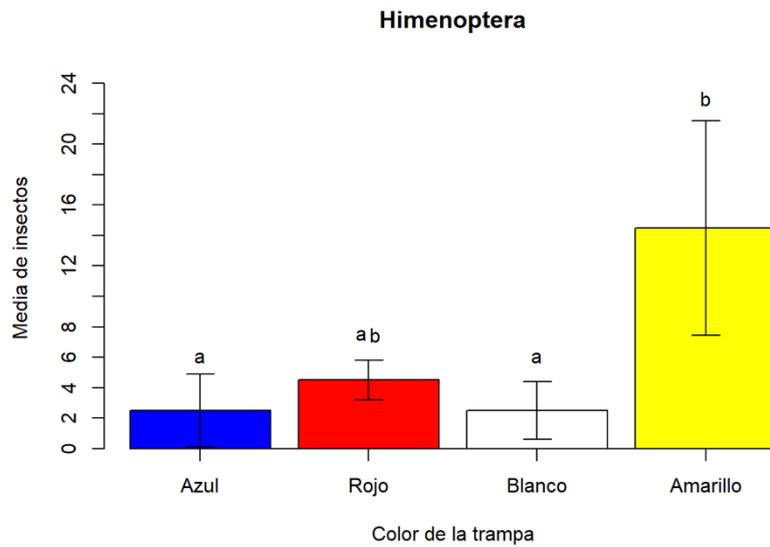


Gráfico 4: Comparación de la media del grupo Himenoptera entre los 4 colores de estudio.

Los resultados muestran que el grupo Hemiptera presenta una mayor atracción significativa por el color amarillo que por el resto de los colores del estudio ($p\text{-value}=0,03465$). Finalmente, para el grupo Himenoptera se ha visto una diferencia significativa para el color amarillo, atrayendo este más a los insectos de este grupo que el color azul y el color blanco ($p\text{-value}=0,01726$).

Tabla 2: número total de familias de dípteros encontrados en los 4 colores de trampas utilizadas.

Familia	Diptera			
	Azul	Rojo	Blanco	Amarillo
Anthomyiidae	39	5	-	15
Asilidae	2	-	8	1
Bibionidae	3	1	5	1
Calliphoridae	49	1	26	2
Cecidomyiidae	31	23	17	20
Ceratopogonidae	2	-	1	4
Chironomidae	5	2	3	8
Chloropidae	9	6	9	27
Dolichopodidae	-	-	-	1
Drosophilidae	56	3	31	13
Empididae	-	-	-	7
Muscidae	22	7	12	19
Phoridae	47	41	28	22
Platycidae	-	-	-	13
Psilidae	-	3	-	-
Psychodidae	1	5	1	1
Sciaridae	720	1148	584	2036
Sciomyzidae	-	-	-	1
Sepsidae	-	-	-	1
Sirifidae	2	-	-	-
Tachinidae	1	-	-	-
Trichoceridae	-	-	-	1
Otros	2	-	7	-

Dentro del grupo de los dípteros, los que presentaron diferencias estadísticamente significativas fueron las siguientes familias: Sciaridae, Drosophilidae, Chloropidae y Calliphoridae.

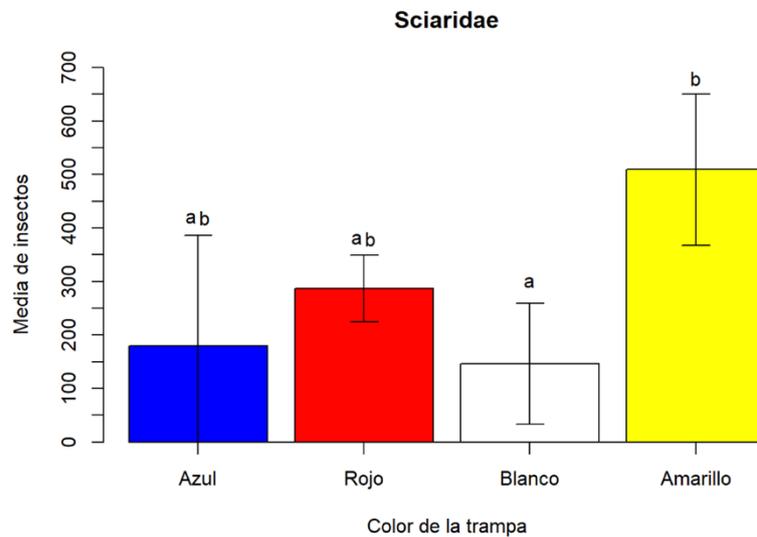


Gráfico 5: Comparación de la media del grupo Sciaridae entre los 4 colores de estudio.

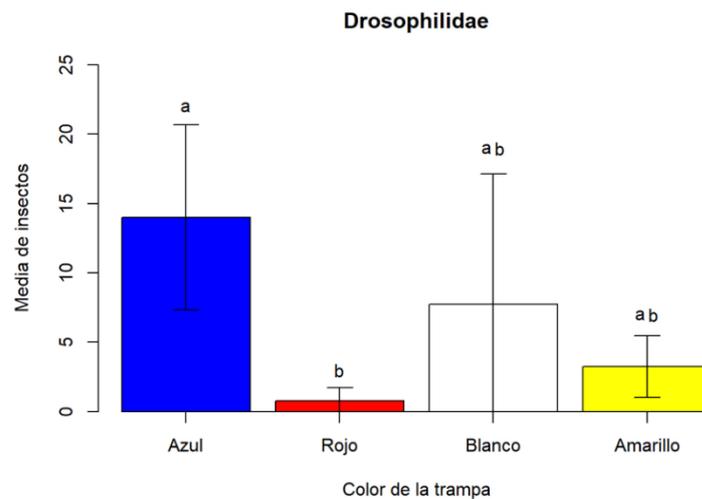


Gráfico 6: Comparación de la media del grupo Drosophilidae entre los 4 colores de estudio.

En este caso se puede observar que el color amarillo es significativamente más eficaz para la caza de individuos del grupo Sciaridae que el color blanco ($p\text{-value}=0,03437$).

Para el grupo Drosophilidae, por medio de los resultados, podemos observar que el color azul es significativamente más eficaz que el color rojo para la captura de esta familia de insectos ($p\text{-value}=0,04068$).

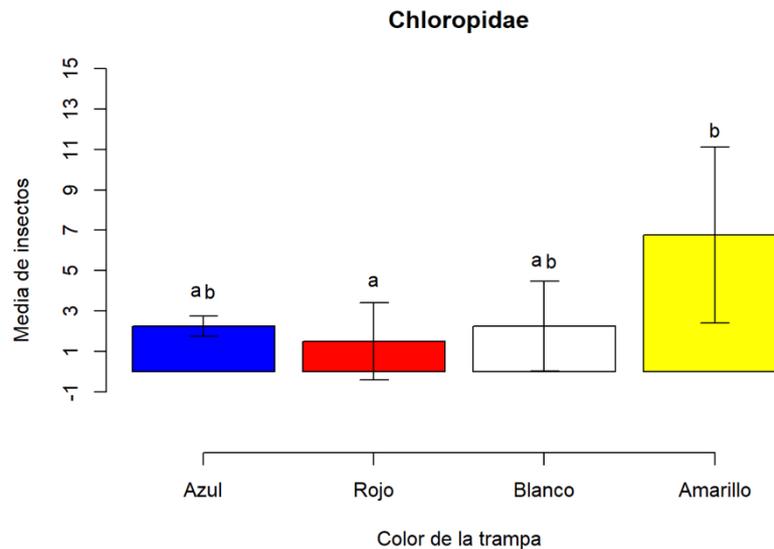


Gráfico 7: Comparación de la media del grupo Chloropidae entre los 4 colores de estudio.

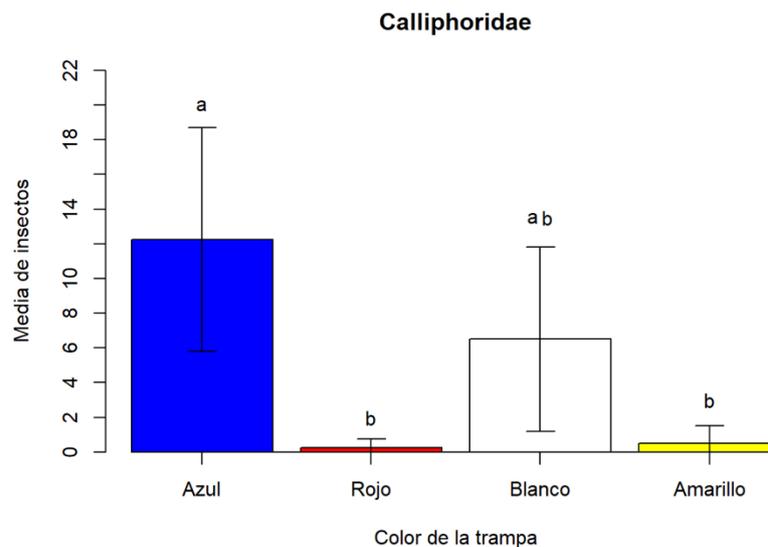


Gráfico 8: Comparación de la media del grupo Calliphoridae entre los 4 colores de estudio.

El grupo Chloropidae ha mostrado significativamente una mayor atracción hacia el color amarillo en comparación con el color rojo siendo este último menos eficaz para su captura ($p\text{-value}=0,0478$).

En el caso de la familia Calliphoridae, el color azul ha mostrado significativamente tener una mayor eficacia para su caza que el color rojo y el color amarillo ($p\text{-value}=0,009874$).

Por otra parte, los resultados obtenidos por medio de las trampas de luz se muestran a continuación.

Tabla 3: número total de artrópodos encontrados en los diferentes colores de las trampas de luz.

Número de artrópodos						
Clase	Orden	Familia	Azul	Rojo	Blanco	Amarillo
Arachnida	-	-	-	1	1	-
Insecta	Coleoptera	-	4	4	4	1
Insecta	Hymenoptera	-	-	1	-	-
Insecta	Lepidoptera	-	2	1	9	-
Insecta	Psocoptera	-	2	1	3	-
Insecta	Hemiptera	Aphididae	-	-	-	1
Insecta	Hemiptera	Cicadellidae	1	-	-	-
Insecta	Coleoptera	Lampyridae	6	2	3	4
Insecta	Hemiptera	Miridae	1	1	1	1
Insecta	Thysanoptera	Thripidae	2	9	4	3

Tabla 4: Familias de dípteros totales encontrados en los diferentes colores de las trampas de luz.

Familia	Diptera			
	Azul	Rojo	Blanco	Amarillo
Anthomyidae	1	-	-	-
Cecidomyiidae	55	13	105	25
Ceratopogonidae	-	1	-	-
Chironomidae	14	-	10	5
Chloropidae	1	-	1	3
Drosophilidae	1	1	2	4
Muscidae	-	-	3	4
Phoridae	-	-	-	1
Psychodidae	-	1	1	10
Sciaridae	4	4	7	4

En este caso, debido a la baja N obtenida de insectos en la gran mayoría de grupos, no se obtuvo ninguna diferencia estadísticamente significativa en ninguno de los grupos.

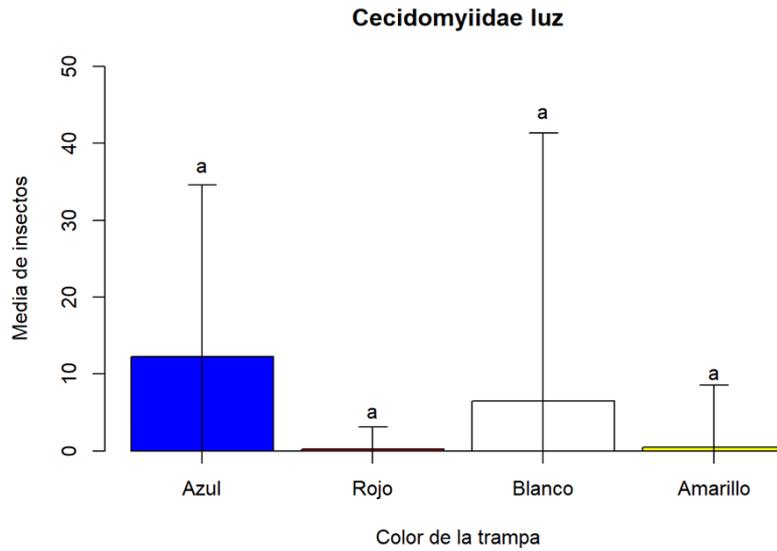


Gráfico 9: Comparación de la media del grupo Cecidomyiidae entre los 4 colores de luz de estudio.

En el caso del grupo Cecidomyiidae, sí que se ha visto un gran número de capturas en los 4 colores de luz utilizados pudiéndose ver una mayor presencia de estos en el color blanco, pero no se puede confirmar estadísticamente que el color blanco sea mucho más eficaz para su captura que el resto de los colores utilizados.

Además, pese a las trampas estar un menos tiempo expuestas que las trampas cromáticas, presentan un mayor número de individuos capturados que las trampas cromáticas normales.

5. Discusión

En la actualidad, el uso de pesticidas para el control de plagas está muy extendido y su uso está muy normalizado en el mundo de la agricultura, lo que genera una amplia inestabilidad en el ecosistema agrícola (Franco, 2011), además de una amenaza para la salud humana y el medio ambiente (Southwood, 1978). Por ese motivo es muy importante el estudio y análisis de métodos de seguimiento de insectos beneficiosos y de erradicación y detección de plagas.

En cuanto a los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede observar una mayor afluencia de artrópodos a nivel general en las trampas cromáticas de color amarillo tanto a nivel poblacional como a nivel de diversidad de grupos de artrópodos. Concretamente, se ha observado, de forma significativa, una mayor eficacia del color amarillo en la captura de artrópodos pertenecientes a los órdenes Thysanoptera, Himenoptera y Hemiptera; y las familias Sciaridae y Chloropidae (Orden Diptera). Si seguimos con el análisis de los resultados, se puede observar que el siguiente color con una mayor afluencia de insectos es el color azul presentando una mayor eficacia significativa para la captura de artrópodos pertenecientes a los grupos Thysanoptera, Drosophilidae, Coleoptera y Calliphoridae.

De todos estos grupos, las trampas adhesivas amarillas han sido ampliamente utilizadas en la literatura científica para la caza de trips (Fam. Thysanoptera) ya que estos muestran una mayor respuesta fototáctica al color amarillo brillante en comparación con el resto de colores (Hoelmer, 1998). En el caso del color azul, diversos estudios indican que resulta también eficaz para la captura de trips (Brodsgaard, 1989) capturando significativamente más trips que el color blanco y el rojo coincidiendo con los resultados del presente estudio. De esta manera, el color amarillo seguido del color azul mostraría una mayor eficacia para la captura y control de trips siendo de gran ayuda para el control y extensión de esta plaga en los cultivos.

Si hablamos ahora de la familia Hemiptera, estos presentan preferencias cromáticas muy diversas. Según Holopainen (1986) la especie *Lygus rugulipennis* no presenta una preferencia hacia el amarillo, pero sí hacia el color azul de forma significativa yendo en contra de los resultados obtenidos. En cambio *L. kalmi*, perteneciente a la misma familia, no presenta una preferencia diferencial entre el color amarillo y el azul precisándose de un mayor estudio sobre las preferencias cromáticas a nivel de familia (Hérnaut *et al.* 1999). A favor de los resultados encontraríamos la familia Cicadellidae, familia mayormente atraída por los tonos amarillos (Hart *et al.* 1978) como por ejemplo *Circulifer tenellus* comúnmente conocido como saltahoja de la remolacha, un importante vector de enfermedades en vegetales, que presenta una preferencia significativa por el amarillo (Meyerdirk *et al.* 1985).

Otro ejemplo bien relatado es el de los adultos de mosca blanca (Homoptera: Aleyrodidae), una especie polígama que afecta a innumerables cultivos. Para estas moscas se han fabricado trampas basadas en tres comportamientos de la especie: su atracción preferente por el color amarillo (Mound, 1962), el movimiento realizado por los adultos para alimentarse y la tendencia a ovopositar en las superficies sombreadas del envés de las hojas (Chu *et al.* 1995). En este caso la trampa consiste en una tapa de plástico completamente transparente que admite la luz para que los adultos se puedan orientar en la trampa, una placa deflectora que reduce el escape de los adultos atrapados y una base de color amarillo para su atracción (Chu & Henneberry, 1998) mostrando una alta correlación entre número de individuos y el color de la base siendo la más efectiva la de color amarillo.

Entrando en el grupo Hymenoptera, muchos de los individuos capturados en las trampas han sido de naturaleza parasitoide. En diversos estudios, se ha visto que la preferencia por el color amarillo en algunas especies como por ejemplo *Trichogramma ostriniae* por encima del blanco, el verde o el negro es debido al color amarillo que presentan los huevos de su huésped lepidoptero *Ostrinia nubilalis* (Lobdell *et al.* 2005). El mismo caso sucede con las especies de hemipteros *Euschistus heros* y *Nezara viridula* (de Aquino *et al.* 2012). Además, algunos trabajos demuestran que las hembras de estos individuos presentan amplia preferencia por el color amarillo debido a que las flores son comúnmente de este color, de manera que tienen el color amarillo como indicativo de suplementación de néctar y otras sustancias nutritivas (Wäckers 1994; Uefune *et al.* 2013).

En referencia al orden Coleoptera, diversos estudios demuestran el fototaxismo diferencial de los individuos de este orden. Según Hausmann *et al.* (2004) los gorgojos hembra (Curculionidae) son capaces de reconocer y diferenciar claves visuales para la localización de su planta huésped siendo capaces de distinguir las longitudes de onda UV y de los colores verde y azul mostrando una preferencia del azul sobre el verde. Los machos en cambio muestran preferencia sobre las longitudes UV, aunque también pueden distinguir el color verde y azul. En el caso de las hembras, esta agudeza visual se ve aumentada debido a la necesidad de selección de lugares para ovipositar mientras que los machos son menos críticos en la elección (VanderSar & Borden, 1977). Por tanto, van en consonancia con los resultados del presente estudio ya que también se ha encontrado significativamente un mayor número de coleópteros en las trampas azules. Sin embargo, un estudio de Cavaletto *et al.* (2020) sobre escarabajos joya, escarabajos de la corteza y escarabajos de la ambrosía (Buprestidae, Curculionidae y Scolytinae respectivamente) muestra que estos representan respuestas mixtas a los colores de las trampas dependiendo de sus preferencias alimenticias, de manera que los escarabajos que visitaban con mayor frecuencia las flores para alimentarse

se veían mayormente atraídos por el color amarillo en comparación con el resto de los colores. Otra capacidad fototáctica es de reconocimiento del color de la hembra por parte de los machos, de manera que los individuos de *Chondria affinis* caracterizados por tener una coloración metálica oscura se ven mayormente atraídos por trampas de color azul o púrpura (Skvarla *et al.* 2017). Es por ello que se necesita un estudio más amplio sobre las preferencias específicas dentro de cada familia de Coleoptera.

Por otra parte, se sabe que los dípteros poseen uno de los sistemas visuales más elaborados y evolucionados dentro de los insectos. Pese a la amplia diversidad de este orden de insectos, es muy complicado establecer y determinar las preferencias cromáticas de la totalidad de familias de dípteros de manera que en la actualidad multitud de grupos aun se encuentran sin determinar.

Múltiples son los estudios en ecología que han utilizado trampas cromáticas para la captura de dípteros, pero no se ha conseguido determinar el motivo por el que la mosca es atraída por dicho color. En muchos casos, la atracción diferencial del díptero hacia diferentes colores de flores por ejemplo se ha visto afectado por las recompensas que estas se pueden llevar de esa flor como por ejemplo recompensas de calor (Kevan, 1975) o la presencia de néctar dentro de las flores (Raine & Chittka, 2007). Con una mayor frecuencia se ha visto que las moscas visitan las flores de color amarillo y blanco en comparación con las flores de color rojo y azul.

A pesar de esto, hay diversos grupos de gran importancia sanitaria y económica de los que se ha podido establecer una preferencia cromática como es el ejemplo de la mosca de los establos, un importante ectoparasito hematófago del ganado. Diversos estudios muestran una mayor atracción de éstas por el color azul en comparación con el color blanco o colores mas vivos como el amarillo. Un ejemplo es el de hembras de *Stomoxys calcitrans* (Muscidae), las cuales presentan una fototaxia positiva hacia el color azul (Waldbillig, 1968). Estas son moscas de distribución cosmopolita con una gran importancia económica pudiendo causar anemia en el ganado en caso de infecciones muy severas.

Por otro lado, un ejemplo bien relatado es el de la especie *Ceratitis capitata* (Tephritidae). Según Sanders (1968), tanto la forma, el color y el tamaño de las trampas juegan un papel muy importante en la detección de esta especie. Se ha visto que formas mas cercanas al de una fruta son mas atractivas para las hembras. Se vio además que el color amarillo es el mas atractivo para ellas ya que estimula a los tefrítidos a la búsqueda de plantas o comida y, curiosamente, a mayor era la superficie de la trampa aumentaba el numero de especies atrapadas (Prokopy, 1972).

Para la determinación de las preferencias de los dípteros, el estudio del color como única variable de estudio presenta sus desventajas ya que no se tienen en cuenta los diversos estímulos alternativos potencialmente atractivos.

Un factor que no se ha tenido en cuenta ha sido la altura del muestreo. Se sabe que la segregación de los insectos también puede haber sido resultado de la altura a la que se encontraban las trampas ya que, según Taylor (1979), las diferentes especies de moscas se segregan de forma diferencial a lo largo del plano vertical y de forma uniforme a lo largo del eje horizontal. Es por ello que la variación de la altura a la que se colocaron las trampas podría cambiar completamente los resultados obtenidos.

En tercer lugar, tendríamos el color blanco. En este caso, se ha observado que tiene una mayor eficacia, aunque no estadísticamente significativa, para la captura de artrópodos del grupo Cecidomyiidae en las trampas de luz. Si comparamos este resultado con las trampas cromáticas normales podemos observar un menor conteo de individuos de esta familia en el color blanco.

Sin embargo, un estudio realizado por Catherine *et al.* (2004) reportó que más de un 66% de los insectos capturados mostraban preferencia por trampas de color blanco siendo este el color más exitoso del estudio mostrando incluso una mayor afluencia de dípteros que el color amarillo. Como se ha mencionado anteriormente, esta disparidad de resultados puede ser debida a la gran cantidad de estímulos alternativos y recompensas asociadas a cada color por parte de las familias de dípteros.

Finalmente, en los resultados se ha visto que el color rojo no atrae de forma significativa a ninguno de los grupos observados en el estudio. A pesar de no haber mostrado ninguna diferencia significativa, sí que se han encontrado grupos en el color rojo que no se han observado en el resto de colores como, por ejemplo los grupos Blattodea, Ephemeroptera y Psilidae. A pesar de estos resultados negativos, se ha demostrado ampliamente la eficacia del color rojo en la captura de los denominados "Stored-product arthropods". Estos son aquellos insectos que viven y procrean en productos almacenados tales como graneros, lugares de almacenamiento de comida procesada e incluso en el tabaco. Un estudio realizado por Park *et al.* (2017) demuestra que las trampas Led de color rojo son aquellas que presenta una mayor atracción para especies de coleópteros de este tipo tales como *Sitophilus zeamais*, o comúnmente denominado gorgojo del maíz el cual es una plaga muy importante a nivel

mundial en el cultivo y almacenamiento del maíz, y *Tribolium castanetum*, otro coleoptero muy importante a nivel sanitario el cual puede habitar en productos tales como la harina, los cereales y la pasta. Esto podría demostrar la baja efectividad del color rojo en el estudio debido a la ausencia de este tipo de productos en la zona de estudio. De todas formas, se puede observar que el color rojo fue el único que mostró la presencia (aunque no significativa) de un individuo del orden Blattodea más concretamente a una cucaracha muy presentes como plagas en alimentos.

Asimismo, dado que las trampas adhesivas se basan en las respuestas de comportamiento de los insectos, muchas características fisiológicas, las condiciones ambientales y las interacciones bióticas intra e interespecíficas pueden afectar al número de insectos que acaban en las trampas. Además, las características de la propia trampa y su colocación, o el mal uso, pueden influir en las capturas de las trampas (Webb *et al.*, 1985; Gillespie & Quiring, 1992). A pesar de ello, el grado de influencia de dichos factores en la tendencia de la plaga a acabar en las trampas puede estudiarse y tenerse en cuenta a la hora de interpretar las capturas de las trampas. De esta manera, para el uso de las trampas adhesivas como herramienta hace falta tener en cuenta múltiples factores que pueden afectar a su eficacia tales como el tamaño de la trampa (Heathcote, 1957; Staples & Allington, 1959; Parrella & Jones, 1985; Kirk, 1987), la forma (Southwood, 1978; Chandler, 1981), el color (Chandler, 1981; Affeldt *et al.*, 1983; Kirk, 1984, Brodsgaard, 1989), los adhesivos (Southwood, 1978; Brach & Timble, 1985; Canaday, 1987), los atrayentes químicos (Kirk, 1987; Teulon & Ramakers, 1990), la orientación y la ubicación (Southwood, 1978; Taylor, 1979; Canaday, 1987) y el espaciado de las trampas (Jones & Parrella, 1986; Yano, 1987).

Haciendo referencia a los resultados obtenidos en las trampas de luz, el hecho de no haber obtenido significación puede ser debido a la poca distancia mantenida entre las trampas. La distancia elegida entre las trampas de luz fue de 1m aproximadamente pudiendo resultar en que los insectos no distinguían realmente los colores de las trampas, sino que caían de forma aleatoria en la primera trampa que éstos alcanzaban. Esto podría explicar la homogeneidad de los resultados obtenidos en los cuatro colores de estudio no encontrando ningún resultado significativo entre ellos. Aun así, son muchos los estudios que avalan la eficacia de las trampas basadas en luces LED para la captura tanto de insectos beneficiosos como de insectos potencialmente dañinos. Según el estudio de Chen *et al.* (2004) donde se compararon trampas amarillas con trampas amarillas a las que se les había incluido una luz LED, se observaron significativamente más plagas de los géneros Aleyrodidae, Sciaridae, Thysanoptera y Cicadellidae en las trampas luminosas mostrando así su eficacia.

6. Conclusión

Del presente trabajo podemos extraer las siguientes conclusiones:

A nivel bibliográfico y tecnológico, este Trabajo de Fin de Grado ha contribuido al desarrollo de un protocolo para el uso en consonancia de trampas cromotrópicas y luces LED de bajo coste para la captura y monitorización de insectos tanto beneficiosos como potenciales plagas.

Además, sirve como apoyo a la investigación y ampliación de los conocimientos dentro de esta área sirviendo como futuros sustituyentes de los pesticidas de uso común los cuales afectan negativamente al agro ecosistema y a la salud humana.

A nivel de resultados, se ha observado un cromotropismo significativo de determinados grupos de artrópodos a diferentes colores demostrando así su capacidad para discernir entre los diferentes colores de estudio. Esto permitirá la creación de estrategias de captura y monitorización más eficaces y específicas para el control del grupo de estudio.

Sin embargo, para próximos estudios se necesitaría tener en cuenta diversas variables que pueden afectar a la preferencia cromática de los insectos tales como la altura de la trampa o las recompensas secundarias asociadas a cada color para la obtención de resultados más fehacientes. Finalmente, en cuanto a las trampas de luz, para la obtención de resultados más óptimos y significativos, la distancia entre las trampas ha de ser mayor para observar una mejor respuesta cromotrópica por parte de los insectos evitando así resultados homogéneos y azarosos.

7. Bibliografía

1. Affeldt, H. A., Thimijan, R. W., Smith, F. F., & Webb, R. E. (1983). Response of the greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) and the vegetable leafminer (Diptera: Agromyzidae) to photospectra. *Journal of Economic Entomology*, 76(6), 1405-1409.
2. Brach, E. J., & Trimble, R. M. (1985). EFFECT OF ADHESIVE ON THE SPECTRAL REFLECTANCE OF INSECT TRAPS¹. *The Canadian Entomologist*, 117(12), 1565-1568.
3. Briscoe, A. D., & Chittka, L. (2001). The evolution of color vision in insects. *Annual review of entomology*, 46(1), 471-510.
4. Brødsgaard, H. F. (1989). Coloured sticky traps for *Frankliniella occidentalis* (Pergande)(Thysanoptera, Thripidae) in glasshouses. *Journal of applied entomology*, 107(1-5), 136-140.
5. Canaday, C. L. (1987). Comparison of insect fauna captured in six different trap types in a Douglas-fir forest. *The Canadian Entomologist*, 119(12), 1101-1108.
6. Cavaletto, G., Faccoli, M., Marini, L., Spaethe, J., Magnani, G., & Rassati, D. (2020). Effect of trap color on captures of bark-and wood-boring beetles (Coleoptera; Buprestidae and Scolytinae) and associated predators. *Insects*, 11(11), 749.
7. Chandler, L. D. (1981). Evaluation of different shapes and color intensities of yellow traps for use in population monitoring of dipterous leaf miners [*Liriomyza sativae*, *Liriomyza trifolii*, pests of vegetable and flowering crops]. *Southwest Entomology*.
8. Chandler, L. D. (1985). Flight activity of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) in relationship to placement of yellow traps in bell pepper. *Journal of economic entomology*, 78(4), 825-828.
9. Chen, T. Y., Chu, C. C., Henneberry, T. J., & Umeda, K. (2004). Monitoring and trapping insects on poinsettia with yellow sticky card traps equipped with light-emitting diodes. *HortTechnology*, 14(3), 337-341.

10. Cohnstaedt, L. E. E., Gillen, J. I., & Munstermann, L. E. (2008). Light-emitting diode technology improves insect trapping. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 24(2), 331.
11. Ferreira Santos de Aquino, M., Dias, A. M., Borges, M., Moraes, M. C. B., & Laumann, R. A. (2012). Influence of visual cues on host-searching and learning behaviour of the egg parasitoids *T. elenopus podisi* and *T. rissolcus basalis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 145(2), 162-174.
12. Franco, K., Jauset, A., & Castañé, C. (2011). Monogamy and polygamy in two species of mirid bugs: a functional-based approach. *Journal of Insect Physiology*, 57(2), 307-315.
13. Friedrich, M., Wood, E. J., & Wu, M. (2011). Developmental evolution of the insect retina: insights from standardized numbering of homologous photoreceptors. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 316(7), 484-499.
14. Gerling, D. (1990). *Whiteflies: their bionomics, pest status and management*. Intercept Limited.
15. Gerling, D. A. N., & Horowitz, A. R. (1984). Yellow traps for evaluating the population levels and dispersal patterns of *Bemisia tabaci* (Gennadius)(Homoptera: Aleyrodidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 77(6), 753-759.
16. Gillespie, D. R., & Quiring, D. J. (1992). FLIGHT BEHAVIOR OF THE GREENHOUSE WHITEFLY, *TRIALEURODES VAPORARIORUM* (WESTWOOD)(HOMOPTERA: ALEYRODIDAE), IN RELATION TO YELLOW STICKY TRAPS¹. *The Canadian Entomologist*, 124(5), 907-916.
17. Gu, X. S., Bu, W. J., Xu, W. H., Bai, Y. C., Liu, B. M., & Liu, T. X. (2008). Population suppression of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) using yellow sticky traps and *Eretmocerus* nr. *rajasthanicus* (Hymenoptera: Aphelinidae) on tomato plants in greenhouses. *Insect Science*, 15(3), 263-270.

18. Heathcote, G. D. (1957). THE OPTIMUM SIZE OF STICKY APHID TRAPS. *Plant Pathology*, 6(3), 104-107.
19. Henaut, Y., Alauzet, C., Dargagnon, D., & Lambin, M. (1999). Visual learning in larval *Orius majusculus* a polyphagous predator. *Entomologia experimentalis et Applicata*, 90(1), 103-107.
20. Hill, A. R., & Hooper, G. H. S. (1984). Attractiveness of various colours to Australian tephritid fruit flies in the field. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 35(2), 119-128.
21. Hoelmer, K. A., Roltsch, W. J., Chu, C. C., & Henneberry, T. J. (1998). Selectivity of whitefly traps in cotton for *Eretmocerus eremicus* (Hymenoptera: Aphelinidae), a native parasitoid of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology*, 27(4), 1039-1044.
22. Holopainen, J. K. (1986). Damage caused by *Lygus rugulipennis* Popp. (Heteroptera, Miridae), to *Pinus sylvestris* L. seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1(1-4), 343-349.
23. Huang, S. C., Chiou, T. H., Marshall, J., & Reinhard, J. (2014). Spectral sensitivities and color signals in a polymorphic damselfly. *PLoS One*, 9(1), e87972.
24. JONES, V. P., & PARRELLA, M. P. (1986). The movement and dispersal of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) in a chrysanthemum greenhouse. *Annals of applied biology*, 109(1), 33-39.
25. Kaas, J. P. (2005). Vertical distribution of thrips and whitefly in greenhouses and relative efficiency of commercially available sticky traps for population monitoring. *Proc. Neth. Entomol. Soc. Meet*, 16, 109-115.
26. Kevan, P. G. (1975). Sun-tracking solar furnaces in high arctic flowers: significance for pollination and insects. *Science*, 189(4204), 723-726.
27. Kirk, W. D. (1984). Ecologically selective coloured traps. *Ecological Entomology*, 9(1), 35-41.

28. Koshitaka, H., Kinoshita, M., Vorobyev, M., & Arikawa, K. (2008). Tetrachromacy in a butterfly that has eight varieties of spectral receptors. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1637), 947-954.
29. Lewis, T. (1997). *Thrips as crop pests*. Cab International.
30. Lobdell, C. E., Yong, T. H., & Hoffmann, M. P. (2005). Host color preferences and short-range searching behavior of the egg parasitoid *Trichogramma ostrinae*. *Entomologia experimentalis et applicata*, 116(2), 127-134.
31. Lunau, K., & Wacht, S. (1994). Optical releasers of the innate proboscis extension in the hoverfly *Eristalis tenax* L.(Syrphidae, Diptera). *Journal of Comparative Physiology A*, 174(5), 575-579.
32. Meyerdirk, D. E., & Oldfield, G. N. (1985). EVALUATION OF TRAP COLOR AND HEIGHT PLACEMENT FOR MONITORING CIRCULIFER TENELLUS (BAKER)(HOMOPTERA: CICADELLIDAE) 1. *The Canadian Entomologist*, 117(4), 505-511.
33. Mizunami, M. (1995). Functional diversity of neural organization in insect ocellar systems. *Vision research*, 35(4), 443-452.
34. Mondor, E. B. (1995). Syrphid captures on red sphere traps deployed for the apple maggot fly, *Rhagoletis pomonella* (Walsh). *Ecoscience*, 2(2), 200-202.
35. Moreau, T. (2010). *Manipulating whitefly behaviour using plant resistance, reduced-risk sprays, trap crops and yellow sticky traps for improved control for wweet pepper greenhouse crops*(Doctoral dissertation, University of British Columbia).
36. Moreau, T. L., & Isman, M. B. (2011). Trapping whiteflies? A comparison of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) responses to trap crops and yellow sticky traps. *Pest management science*, 67(4), 408-413.
37. Muir, L. E., Thorne, M. J., & Kay, B. H. (1992). *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) vision: spectral sensitivity and other perceptual parameters of the female eye. *Journal of medical Entomology*, 29(2), 278-281.

38. Naranjo, S. E., Flint, H. M., & Henneberry, T. J. (1995). Comparative analysis of selected sampling methods for adult *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cotton. *Journal of economic entomology*, 88(6), 1666-1678.
39. Oakley, T. H. (2003). On homology of arthropod compound eyes. *Integrative and Comparative Biology*, 43(4), 522-530.
40. Palumbo, J. C., Tonhasca Jr, A., & Byrne, D. N. (1995). Evaluation of three sampling methods for estimating adult sweet potato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) abundance on cantaloupes. *Journal of economic entomology*, 88(5), 1393-1400.
41. Park, J. J., Lee, J. H., Shin, K. I., Lee, S. E., & Cho, K. (2011). Geostatistical analysis of the attractive distance of two different sizes of yellow sticky traps for greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)(Homoptera: Aleyrodidae), in cherry tomato greenhouses. *Australian Journal of Entomology*, 50(2), 144-151.
42. Parrella, M. P., & Jones, V. P. (1985). Yellow traps as monitoring tools for *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) in chrysanthemum greenhouses. *Journal of economic entomology*, 78(1), 53-56.
43. Peitsch, D., Fietz, A., Hertel, H., de Souza, J., Ventura, D. F., & Menzel, R. (1992). The spectral input systems of hymenopteran insects and their receptor-based colour vision. *Journal of Comparative Physiology A*, 170(1), 23-40.
44. Pickering, C. M., & Stock, M. (2003). Insect colour preference compared to flower colours in the Australian Alps. *Nordic Journal of Botany*, 23(2), 217-223.
45. Prokopy, R. J., & Owens, E. D. (1983). Visual detection of plants by herbivorous insects. *Annual review of entomology*, 28(1), 337-364.
46. Raine, N. E., & Chittka, L. (2007). The adaptive significance of sensory bias in a foraging context: floral colour preferences in the bumblebee *Bombus terrestris*. *PLoS One*, 2(6), e556.
47. Schwab, I. R. (2018). The evolution of eyes: major steps. The Keeler lecture 2017: centenary of Keeler Ltd. *Eye*, 32(2), 302-313.

48. Shimoda, M., & Honda, K. I. (2013). Insect reactions to light and its applications to pest management. *Applied Entomology and Zoology*, 48(4), 413-421.
49. Skvarla, M. J., & Dowling, A. P. (2017). A comparison of trapping techniques (Coleoptera: Carabidae, Buprestidae, Cerambycidae, and Curculionoidea excluding Scolytinae). *Journal of Insect science*, 17(1).
50. Song, B. M., & Lee, C. H. (2018). Toward a mechanistic understanding of color vision in insects. *Frontiers in neural circuits*, 12, 16.
51. Southwood, T. R. E. (1978). The sampling programme and the measurement and description of dispersion. In *Ecological methods*, 7-69. Springer, Dordrecht.
52. Staples, R., & Allington, W. B. (1959). The efficiency of sticky traps in sampling epidemic populations of the Eriophyid mite *Aceria tulipae* (K.), vector of wheat streak mosaic virus. *Annals of the Entomological Society of America*, 52(2), 159-164.
53. Stavenga, D. (2002). Colour in the eyes of insects. *Journal of Comparative Physiology A*, 188(5), 337-348.
54. Steiner, M. Y., Spohr, L. J., Barchia, I., & Goodwin, S. (1999). Rapid estimation of numbers of whiteflies (Hemiptera: Aleurodidae) and thrips (Thysanoptera: Thripidae) on sticky traps. *Australian Journal of Entomology*, 38(4), 367-372.
55. Taylor, L. R. (1979). The Rothamsted Insect Survey: an approach to the theory and practice of synoptic pest forecasting in agriculture, 148-155.
56. Teulon, D., & RAMAKERS, P. (1990). A review of attractants for trapping thrips with posticular reference to glasshouses. *Bulletin SROP*, 13(5), 212-214.
57. Thomson, L. J., Neville, P. J., & Hoffmann, A. A. (2004). Effective trapping methods for assessing invertebrates in vineyards. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(9), 947-953.
58. Uefune, M., Kugimiya, S., Shimoda, T., & Takabayashi, J. (2013). Starvation and herbivore-induced plant volatiles affect the color preferences of parasitic wasps. *BioControl*, 58(2), 187-193.

59. Van Der Kooij, C. J., Stavenga, D. G., Arikawa, K., Belušič, G., & Kelber, A. (2021). Evolution of insect color vision: from spectral sensitivity to visual ecology. *Annu. Rev. Entomol*, 66(10.1146).
60. VanderSar, T. J. D., & Borden, J. H. (1977). Visual orientation of *Pissodes strobi* Peck (Coleoptera: Curculionidae) in relation to host selection behaviour. *Canadian Journal of Zoology*, 55(12), 2042-2049.
61. Vernon, R., & Gillespie, D. R. (1990). Response of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) to fluorescent traps in a cucumber greenhouse. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 87, 38-41.
62. Wäckers, F. L. (1994). The effect of food deprivation on the innate visual and olfactory preferences in the parasitoid *Cotesia rubecula*. *Journal of Insect Physiology*, 40(8), 641-649.
63. Wallis, D. R., & Shaw, P. W. (2008). Evaluation of coloured sticky traps for monitoring beneficial insects in apple orchards. *New Zealand Plant Protection*, 61, 328-332.
64. Webb, R. E., Smith, F. F., Affeldt, H., Thimijan, R. W., Dudley, R. F., & Webb, H. F. (1985). Trapping greenhouse whitefly with coloured surfaces: variables affecting efficacy. *Crop Protection*, 4(3), 381-393.
65. Wickramarachchi, K. S. (2004). *Exploration of color sensitivity of insects for pest management in tomato* (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis).
66. Yano, E. (1987). Quantitative monitoring techniques for greenhouse whitefly. *I.O.B.C./W.P.R.S. Bull.* 10: 198-202.
67. L. S., Mitchell, W. C., & Cho, J. J. (1987). Color preference of thrips (Thysanoptera: Thripidae) with reference to aphids (Homoptera: Aphididae) and leafminers in Hawaiian lettuce farms. *Journal of Economic Entomology*, 80(1), 51-55.
68. Zelhof, A., Hardy, R., Becker, A. & Zucker, C.S. (2006). Transforming the architecture of compound eyes. *Nature* 443: 696–699.

69. Zhukovskaya, M., Novikova, E., Saari, P. & Frolov, R.V. (2017). Behavioral responses to visual overstimulation in the cockroach *Periplaneta americana* L. *Journal of Comparative Physiology A*, 203(12): 1007–1015.