



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE

# FOTOTAXIS DE *Frankliniella occidentalis* (THYSANOPTERA: THIRIPIDAE) A DIODOS EMISORES DE LUZ EN COLOMBIA

## Phototaxis of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) to light-emitting diodes in Colombia

Andrés Ricardo PERAZA-ARIAS<sup>1\*</sup>, Carlos Alberto GONZÁLEZ-LÓPEZ<sup>2</sup>, Karen Milena FONSECA-ROMERO<sup>2</sup>,  
Rafael Ramón REY-GONZÁLEZ<sup>2</sup>, Helena BROCHERO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.  
arperazaa@unal.edu.co; embrochero@unal.edu.co

Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.  
caragonzalezlop@unal.edu.co; kmfonsecar@unal.edu.co; rrreyg@unal.edu.co

\* For correspondence

**Recibido:** 05 de diciembre de 2022. **Revisado:** 27 de agosto de 2023. **Aceptado:** 08 de febrero de 2024

**Editor asociado:** Allan Henry Smith Pardo

**Citation/ citar este artículo como:** Peraza-Arias, A. R., González-López, C. A., Fonseca-Romero, K. M., Rey-González R. R., Brochero, H. . (2024). Respuesta fototáctica de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) a diodos emisores de luz en Colombia. *Acta Biol Colomb.*, 29(2), 124-134. <https://doi.org/10.15446/abc.v29n2.105850>

### RESUMEN

*Frankliniella occidentalis* (Insecta: Thysanoptera) es una especie cosmopolita considerada plaga clave de cultivos ornamentales, hortícolas y frutales. Trampas de color con fuentes de luz artificial o proveniente del sol se utilizan para vigilar las poblaciones y manipular el comportamiento de los adultos como alternativa de control. En ensayos pareados con condiciones controladas, se evaluó la fototaxis de *F. occidentalis* a 21 combinaciones de longitudes de onda 397 nm (violeta), 462-463 nm (azul), 527-534 nm (verde), 589-595 nm (amarillo), 609 nm (naranja), 628 nm (rojo), y blanco (432-618 nm) utilizando diodos emisores de luz (LED) de bajo costo. Hembras de uno a dos días de emergencia y con cuatro a cinco horas de inanición, mostraron atracción y menor tiempo de respuesta a la combinación (violeta) y (amarillo) (FP= 14, FN= 1) con un tiempo de respuesta promedio de  $2,763 \pm 1,350$  minutos (respuesta mínima a los 0,583 min y máxima de 4,417 minutos), comparado con combinaciones azul-verde, verde-violeta, amarillo-rojo, rojo-violeta. Los resultados contribuyen a procesos de estandarización para el diseño, implementación y uso de trampas de luz en sistemas de vigilancia y control de poblaciones colombianas de *F. occidentalis* en el contexto del manejo integrado de plagas.

**Palabras clave:** prueba de elección de colores, espectro de luz, thrips occidental de las flores, manejo integrado de plagas, manipulación óptica

### ABSTRACT

*Frankliniella occidentalis* (Insecta: Thysanoptera) is a cosmopolitan species considered a major pest of ornamental, horticultural, and fruit crops. Colored traps with artificial or sunlight sources are used to monitor populations and manipulate adult behavior as a control alternative. In paired controlled trials, phototaxis of *F. occidentalis* was assessed at 21 wavelength combinations of 397 nm (violet), 462-463 nm (blue), 527-534 nm (green), 589-595 nm (yellow), 609 nm (orange), 628 nm (red), and white (432-618 nm) using low-cost light emitting diodes (LEDs). Females at one to two days of emergence and with four to five hours of starvation showed attraction and shorter response time to the (violet) and (yellow) combination (FP= 14, FN= 1) with an average response time of  $2.763 \pm 1.350$  min (minimum response at 0.583 min and maximum of 4.417 min), compared to blue-green, green-violet, yellow-red, red-violet combinations. The results contribute to standardization processes for the design, implementation, and use of light traps in monitoring and control systems for Colombian populations of *F. occidentalis* in the context of integrated pest management.

**Keywords:** colour choice-test, light spectrum, western flower thrips, integrated pest management, optical manipulation

## INTRODUCCIÓN

*Frankliniella occidentalis* (Pergande 1895) (Thysanoptera; Thripidae) se considera plaga clave de cultivos ornamentales, frutales y hortícolas (Reitz *et al.*, 2020). Larvas y adultos se alimentan del contenido celular de tejidos del parénquima, generando daños en el órgano cosechable afectando la productividad de una gran diversidad de cultivos (Reitz *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2023). La especie, además, puede transmitir orthotospovirus (Riley *et al.*, 2011; Strzyzewski *et al.*, 2023) y ser considerada cuarentenaria durante los procesos de exportación lo que genera pérdidas significativas en el negocio agrícola (Commonwealth of Australia, 2019; Reitz *et al.*, 2020). *Frankliniella occidentalis* utiliza señales ópticas (Otieno *et al.*, 2018; Lopez-Reyes *et al.*, 2022a) y de olor (Cao *et al.*, 2019; Strzyzewski *et al.*, 2023) para localizar a sus plantas hospedantes, migrar y desarrollar todos sus procesos fisiológicos siguiendo el ritmo circadiano (Davidson *et al.*, 2012; Ren *et al.*, 2020). La especie presenta visión tricromática con fotoreceptores que responden a longitudes de onda entre 520-540nm (verde), 450-470nm (azul) y 350-365nm (ultravioleta) (Vernon y Gillespie, 1990; Matteson y Terry, 1992; Lopez-Reyes *et al.*, 2022b). Las facetas de sus omatidios ventrales presentan pigmentaciones que permiten una respuesta diferencial a densidades ópticas con respecto a las de omatidios sin pigmentación (Lopez-Reyes *et al.*, 2022a). Se sugiere que la especie utiliza la región del verde para orientar, discriminar y encontrar sus plantas hospedantes (Ben-Yakir, 2020), en tanto que, considera las regiones del azul y el ultravioleta como señales intraespecíficas asociadas al vuelo para migraciones (Ben-Yakir, 2020; Stukenberg *et al.*, 2020). Se ha encontrado, también, que los machos siguen señales en el azul y ultravioleta para agregarse, alimentarse y disputar por la copula con las hembras que ingresen al enjambre (Matteson y Terry, 1992). De acuerdo con el origen geográfico y el alimento que consume, se ha encontrado que la especie presenta fototaxis positiva al azul o al amarillo (Lopez-Reyes *et al.*, 2022a; Lopez-Reyes *et al.*, 2022b) lo que ha sido utilizado para manipulación óptica mediante trampas para vigilancia entomológica o captura masiva instaladas en cultivos ornamentales y hortícolas (Johansen *et al.*, 2018; Otieno *et al.*, 2018). La eficacia de las trampas basadas en color depende del material utilizado cuya caracterización espectral puede verse afectada por el pegante utilizado para inmovilizar los insectos (Van Tol *et al.*, 2021); la orientación con respecto a la trayectoria del sol (Bian *et al.*, 2016), así como de la forma, tamaño (Mainali y Lim, 2010) y el contraste de fondo donde se instale la trampa (Ben-Yakir, 2020; Mainali y Lim, 2010). En trampas basadas en luz activa, como los diodos emisores de luz (LED), la eficacia en la respuesta de atracción depende de la intensidad, frecuencia y el ancho medio a media altura del espectro de emisión (Yang *et al.*, 2015; Otieno *et al.*, 2018; Stukenberg *et al.*, 2020). Además, el estado fisiológico en el que se encuentre *F. occidentalis* determina estímulos internos para saciar el

hambre, realizar la oviposición, agregarse o migrar, lo cual influencia la eficacia del uso e interpretación de las trampas (Davidson *et al.*, 2006; Lopez-Reyes *et al.*, 2022a). Trampas de color con pegante, solas o en combinación con luz LED y con semioquímicos, se utilizan ampliamente para el monitoreo y control de la especie en cultivos de ornamentales (McCormack, 2015; Johansen *et al.*, 2018).

Colombia es el segundo exportador de flores y ramas cortadas para el mundo después de Países Bajos (International Trade Centre, 2023). La Sabana de Bogotá aporta el 79 % de la producción nacional (AIPH, 2022). Para 2020, año de pandemia por COVID-19, el negocio contribuyó con el 7 % del producto interno del país (grupo agrícola) y representó \$1.420 millones con exportaciones a 89 países (DANE, 2023). *F. occidentalis* es considerada la plaga insectil más significativa que genera pérdidas millonarias en el negocio de ornamentales (Silva-Castaño y Brochero, 2021). Se utilizan trampas de color con pegante para su vigilancia y control, sin embargo, la falta de estandarización de materiales, aunado a la escasa información sobre la biología y ecología de las poblaciones locales, conlleva a resultados no consistentes en la respuesta de fototaxis de la plaga y desalientan su incorporación en las estrategias de manejo integrado de thrips en cultivos (Bian *et al.*, 2016; Silva-Castaño y Brochero, 2021). Esta situación no es deseable debido a que la manipulación óptica de insectos plaga constituye una estrategia de manejo fitosanitario de bajo impacto en el medio ambiente, que puede incorporar tecnología para la estandarización de procesos e interpretación de datos para la toma de decisiones en control (Tay *et al.*, 2021). El presente estudio presenta los resultados de la respuesta de fototaxis de una población de *F. occidentalis*, procedente de cultivos de flores para exportación de la Sabana de Bogotá, a combinaciones pareadas de diferentes longitudes de onda utilizando diodos emisores de luz (LED) de bajo costo y disponibles en el comercio local.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Material entomológico.** Se recolectaron thrips de la especie *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera: Thripidae) en cultivos de *Rosa* sp. y *Chrysanthemum* sp., así como en la arvense *Trifolium pratense* L. (1753) (Asteraceae) en la Sabana de Bogotá utilizando estrategias de muestreo directo (Pizzol *et al.*, 2010). Los insectos se mantuvieron vivos y criaron en recipientes de polipropileno de 4.864,5 cm<sup>3</sup> (23,5 cm x 23,0 cm x 9,0 cm) con tapa hermética y ventana de ventilación de doble malla de poliéster de 45 g-m<sup>2</sup> de densidad. Como sustrato y alimento se utilizaron flores blancas y amarillas de *Chrysanthemum* sp. Tipo Daisy, previamente desinfectadas con lavados en hipoclorito de sodio al 5 %, agua destilada e inmersión en etanol al 70 % y secado a temperatura ambiente. Los recipientes de cría se mantuvieron en jaulas entomológicas de 47,5 x 47,5 x 47,5 cm (BugDorm©-6E610), en grupos de máximo cinco

recipientes, a una temperatura de  $18 \pm 3$  °C, una humedad relativa promedio de  $60 \pm 10$  % y un fotoperiodo de ocho horas luz/12 horas oscuridad. Se logró la obtención de nuevas generaciones cada 12 a 15 días, escalando el tamaño de la cría de tres a diez recipientes, con un promedio semanal de 100 hembras adultas. Quincenalmente se seleccionó el 10 % de hembras adultas de cada recipiente para confirmar la determinación taxonómica por caracteres morfológicos de los individuos de cría (Moritz, *et al.*, 2004; Calixto-Álvarez, 2005; Gunawardana *et al.*, 2017). Los ensayos de fototaxis se realizaron con hembras de *F. occidentalis* emergidas de pupas, lo que permitió estandarizar la edad y el estado de inanición de todos los individuos utilizados en los bioensayos. Además, cada recipiente se etiquetó para no repetir la selección de hembras de un mismo recipiente entre las repeticiones de los bioensayos.

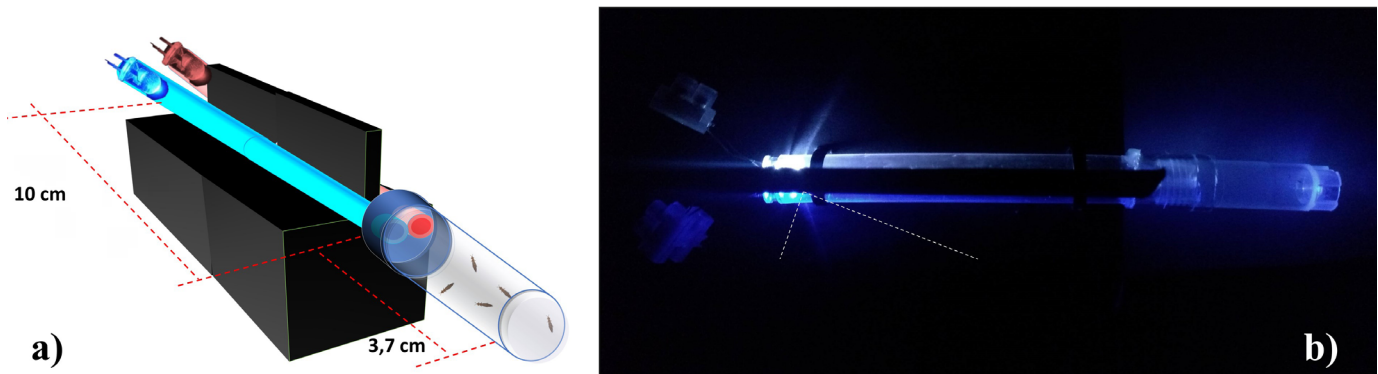
**Fuentes de luz y diseño eléctrico.** Se utilizaron dispositivos LED de bajo costo (menor a cinco centavos de dólar americano) adquiridos en el comercio local. Se realizó la caracterización espectral según el color nominal en el espectro de luz: violeta (397 nm), azul (462-463nm), verde (527-534nm), amarillo (589-595 nm), naranja (609nm), rojo (628 nm), y blanco (432-618 nm) y utilizando diferentes corrientes eléctricas y voltajes en un montaje óptico lineal con un espectrómetro Ocean Optics® usd-650 UV con un rango de 200-1000 nm y una resolución óptica de 2 nm (González-López, 2023). Para los bioensayos, la intensidad de emisión de los LED fue similar, en términos de cuentas por segundo, usando un divisor de voltaje construido con un Arduino Mega (placa reducida), un módulo sensor de corriente (ACS712 de quinta generación) y un sistema de lectura (display LED, ERM1604SBS-1 16x4).

**Bioensayos de respuesta fototáctica de *F. occidentalis* a luz LED.** Se utilizó un diseño experimental controlado basado en la exposición de hembras de *F. occidentalis* a combinaciones pareadas de luz LED. Se utilizaron hembras adultas de uno a dos días de emergencia, con ayuno de cuatro a cinco horas y, aisladas en viales de polipropileno translúcido estéril 2,7 ml, por lo menos 35 minutos antes del inicio de los bioensayos (Davidson *et al.*, 2006) con las mismas condiciones abióticas de la cría original y en oscuridad total (Liu *et al.*, 2019). Para asegurar el mismo tiempo de ayuno de las hembras durante los bioensayos, cada vial se etiquetó por momento de recolección y se utilizó siguiendo el mismo orden.

Se utilizaron tres diseños experimentales para evaluar la respuesta fototáctica de *F. occidentalis*. La primera arena experimental consistió en un dispositivo tipo trébol de cuatro hojas, de material transparente y con las mismas dimensiones y especificaciones descritas por (Cohnstaedt *et al.*, 2018). La liberación de las hembras se realizó en el centro de la arena experimental, para lo cual, se levantó cuidadosamente la tapa superior del dispositivo, se colocó cada vial con los individuos seleccionados para el bioensayo y se permitió su adaptación por cinco minutos. Seguidamente se

encendieron los dispositivos LED, se retiró la tapa del vial para permitir la salida de las hembras adultas de *F. occidentalis* en respuesta a los estímulos lumínicos. Se evaluó una combinación de cuatro LED en longitudes de onda en el rango del verde, azul, amarillo y violeta, con tres repeticiones, cada una con 50 hembras para un total de 150 hembras. La segunda arena experimental siguió la misma estrategia, pero utilizando una arena-trébol de material negro mate, con el fin de evitar posibles interferencias externas y de la luz LED entre las cuatro alas del dispositivo tipo trébol. La tercera arena experimental consistió en un soporte de etileno vinil acetato (EVA) totalmente negro, opaco e inodoro, acoplado a dos mangueras de policloruro de vinilo de 0,25 cm de diámetro interno y 10 cm de longitud conectadas por un extremo con el diodo emisor de luz de evaluación (Yang *et al.*, 2015) y en el otro extremo se acopló a cada vial que contenía las hembras por bioensayo, constituyendo la arena de liberación (Fig. 1). La evaluación de la respuesta fototáctica de hembras de *F. occidentalis* se evaluó a 21 combinaciones de luz LED de diferentes longitudes de onda para un total de 63 bioensayos. Por repetición de cada combinación se evaluaron cinco hembras para un total de 315 hembras. Los bioensayos se realizaron en total oscuridad y el registro de comportamiento se logró debido a la transparencia del material de las mangueras y arena de liberación, una vez que la fuente de luz LED era activada. Se realizaron grabaciones de comportamiento de las hembras durante los bioensayos para lo cual se utilizó cámara de teléfono móvil con resolución de 13 Mpx (Motor G 5S®) con un ángulo que no permitiera interferir la luz LED de los bioensayos. El montaje experimental fue cambiado por uno nuevo para cada repetición por combinación de LED evaluada.

En todos los casos, los bioensayos se realizaron entre las diez y 13 horas, a una temperatura promedio de  $19,8 \pm 0,2$ °C, humedad relativa de  $50 \pm 10$  % y en condiciones de oscuridad total del Laboratorio de Fotónica y Óptica Cuántica, del Departamento de Física de la Universidad Nacional de Colombia. Para cada repetición de un bioensayo y entre éstos, se utilizaron guantes de nitrilo nuevos y se limpiaron todos los elementos utilizados con etanol al 70 %. La respuesta fototáctica se evaluó durante 15 minutos desde el inicio de activación de los estímulos, para lo cual las hembras se recuperaron tanto de la arena experimental como de las zonas de fuentes de luz LED. El tiempo de exposición se verificó con cronómetro digital manual y se consideró fototaxis positiva cuando una hembra seleccionó una de las opciones, se orientó hacia la fuente de luz y permaneció realizando movimientos en contorno del LED (Liu *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2015). Una respuesta fototáctica negativa se consideró como la permanencia de la hembra en la arena de liberación. Los bioensayos en los que se encontró escape de las hembras de *F. occidentalis* se repitieron por lo que los valores negativos en los resultados corresponden únicamente a hembras que presentaron respuesta fototáctica negativa.



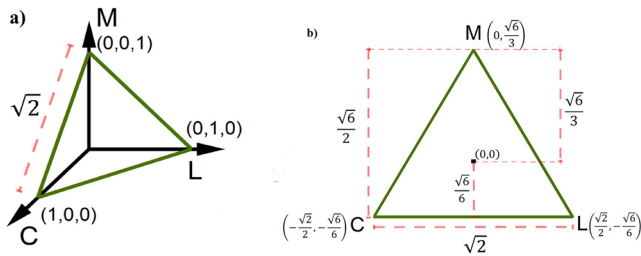
**Figura 1.** Montaje experimental con opción de dos vías para la evaluación de respuesta fototáctica de hembras *F. occidentalis* a estímulos de luz LED de diferentes longitudes de onda en condiciones controladas. a). Esquema del soporte experimental. b). Fotografía de una repetición de bioensayos pareados para la combinación de diodos de color nominal blanco y azul.

Se contabilizó el número de hembras que presentó respuesta fototáctica positiva o negativa en los bioensayos. La estimación de preferencia por longitud de onda se basó en la respuesta de fototaxia para todos los bioensayos con base en pruebas Kruskal-Wallis y de Suma de Rangos por Pares de Wilcoxon Mann-Whitney con un nivel de significancia del 5 %, utilizando la interfaz de Rstudio con funciones de la librería Stats 4.1.0 (RStudio Team, 2022). Se estimó la respuesta al color de las hembras de *F. occidentalis* con base en la percepción visual RVA (rojo, verde y azul – RGB por sus siglas en inglés) de los humanos, para lo cual se construyó un Triángulo LMC (Rushton, 1972) con longitud a cada lado de  $\sqrt{2}$  y con coordenadas en el UV (C, ondas cortas), en el azul (M, ondas medias) y en el verde (L, ondas largas) limitadas como (1,0,0), (0,0,1) y (0,1,0), respectivamente (Otani *et al.*, 2014). Se definió un plano cartesiano bidimensional, cuyo origen coincidió con el baricentro del triángulo y el origen de coordenadas correspondió al color “blanco” por ser equidistante de cada uno de los vértices. El eje y de este nuevo plano, pasó por el vértice azul (M) por lo que la geometría reveló que la altura del triángulo correspondió a  $\sqrt{3}/2$ . Teniendo en cuenta que el baricentro se encontró a  $2/3$  de M y a un tercio del lado inferior del triángulo, se estimó que las coordenadas de M correspondieron a  $((0, \sqrt{2}/3))$ , las de C a  $((-\sqrt{2}/2, -\sqrt{6}/6))$  y las de L a  $((\sqrt{2}/2, -\sqrt{6}/6))$ . Para ubicar las coordenadas de las longitudes de onda utilizadas en los bioensayos se usó el espectro de emisión  $E(\lambda)$  de la caracterización espectral de los dispositivos LED utilizados (González-López 2023) y las coordenadas tridimensionales correspondieron a  $(d\lambda E(\lambda) C(\lambda), d\lambda E(\lambda) M(\lambda), d\lambda E(\lambda) L(\lambda))$ , en donde la integración se realizó entre el valor mínimo de longitud de onda igual a 300 nm y el valor máximo correspondiente a 600 nm. Para encontrar la línea de los colores espectralmente puros se definieron las coordenadas tridimensionales  $(C(\lambda), M(\lambda), L(\lambda))$  en donde  $\lambda$  correspondió a la longitud de onda del color y  $C(\lambda)$ ,  $M(\lambda)$  y  $L(\lambda)$  a los espectros de absorción normalizados (con máximo valor

de uno) descritos para la percepción visual descrita para *F. occidentalis* (Otani *et al.*, 2014). El punto tridimensional resultante P se proyectó sobre el triángulo LMC a partir de trazar una recta perpendicular al triángulo que pasó por P y la intersección de esta recta con el triángulo proporcionó las coordenadas LMC (Fig. 2). Conocida la longitud de onda de máxima absorción fue posible reconstruir el espectro completo de sensibilidad del pigmento visual de las hembras de *F. occidentalis* mediante las plantillas de Govardoskii (Govardoskii *et al.*, 2000). La sensibilidad espectral del ojo compuesto de hembras de la especie con base en los resultados de respuesta fototáctica de los bioensayos que aquí se presentan se reconstruyó utilizando contribuciones de los pigmentos visuales en proporción 1,0;0,99;1,98 (Otani *et al.*, 2014) correspondientes a las longitudes de onda: 363 nm (UV), 476 nm (azul) y 535 nm (verde), respectivamente que corresponden a la visión tricromática descrita para *F. occidentalis*.

## RESULTADOS

Las arenas experimentales tipo trébol, tanto de material transparente como negro mate, no permitieron evaluar la respuesta fototáctica de hembras de *F. occidentalis* debido al escape masivo de los individuos durante los bioensayos. Se encontró que las hembras podían volar hacia la parte alta del dispositivo lo que imposibilitaba la visualización adecuada de los estímulos lumínicos y que fácilmente escapaban previo a su recuperación de las alas del trébol una vez se retiraba la tapa superior del dispositivo. Con la arena experimental EVA se obtuvo una respuesta fototáctica positiva (FP) de 41 % ( $n=130$ ) y una respuesta fototáctica negativa (FN) de 59 % ( $n=185$ ) para el total de los bioensayos. Se encontraron diferencias estadísticas significativas para la respuesta de atracción de las 21 combinaciones ( $KW=33,218$ ,  $p=0,03193$ ) y la combinación amarillo-violeta (FP= 14, FN= 01) con un tiempo de respuesta promedio de  $2,763 \pm$



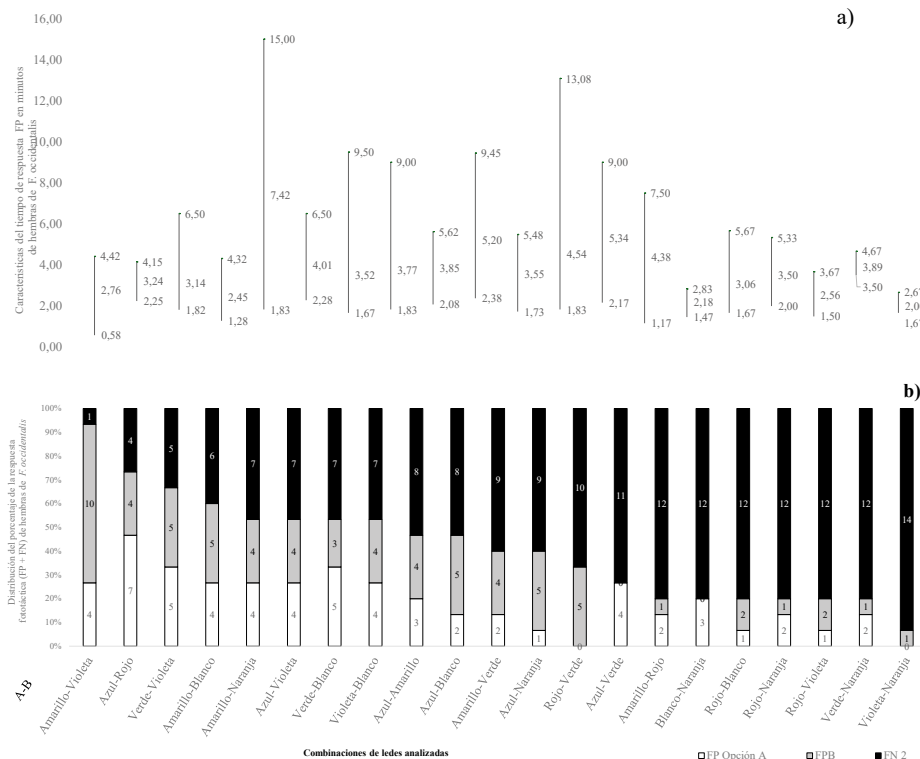
**Figura 2.** Triángulo LMC. a). Posición en un sistema coordenado tridimensional. b). Proyección en un plano 2D indicando el origen de coordenadas, baricentro del triángulo, y las coordenadas de los puntos de longitud de onda larga, media y corta (L, M, C).

1,350 minutos. Además de ser la de mayor respuesta positiva, la combinación pareada de LED amarillo-violeta contribuyó con la mayor significancia estadística de acuerdo con la prueba de suma de rangos de Wilcoxon por pares (Tabla 1). Respuestas de fototaxia positiva se encontraron también con las combinaciones pareadas de LED azul-rojo (FP= 11, FN= 04)  $23.235 \pm 0.847$  min, verde-violeta (FP= 10, FN= 05)  $3.142 \pm 1,302$  min, amarillo-blanco (FP= 09, FN= 06)  $2,45 \pm 1,325$  min. Respuestas de fototaxia negativa se encontraron en combinaciones pareadas LED azul-verde, amarillo-rojo, blanco-naranja, rojo-blanco, rojo-naranja, rojo-violeta y violeta- naranja (Fig. 3).

El triángulo LMC específico para *F. occidentalis* obtenido con base en los resultados de fototaxia en los bioensayos del presente estudio, permitió la localización de las longitudes de onda de máxima emisión (max) de los dispositivos LED evaluados en el estudio, los cuales se observan como círculos de tamaño proporcional a la intensidad de la respuesta fototáctica encontrada. El centro de los círculos de la figura corresponde al valor medio de las coordenadas de color de los ledes y su radio a la preferencia acumulada (Fig. 4). En el diagrama LMC el color blanco para los humanos se encuentra en el centro del área interna del triángulo en tanto que para las hembras de *F. occidentalis* se representa por el círculo de color gris y se encuentra sobre la línea de los colores espectralmente puros. La línea en color cian corresponde a los colores espectralmente puros de longitudes de onda entre 350 y 600 nm (Fig. 4).

## DISCUSIÓN

Las interacciones planta-insecto involucran decisiones secuenciales donde los herbívoros deben buscar y probar el tejido vegetal para aceptar y utilizar una planta como su hospedante (Kindt *et al.*, 2003). El proceso de búsqueda está mediado por señales ópticas y químicas del ambiente, además de las necesidades fisiológicas del insecto según su estado biológico (Ben-Yakir, 2020). Las señales visuales,

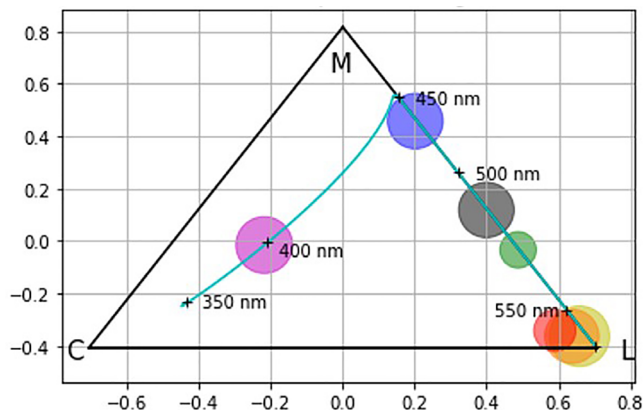


**Figura 3.** Distribución en porcentaje de la respuesta fototáctica positiva (FP) y negativa (FN) y tiempos de respuesta FP de hembras de *F. occidentalis* a estímulos de luz emitidos a diferentes longitudes de onda. a). Rango y promedio del tiempo de respuesta FP. b). Gráfico de barras muestra la cantidad de individuos que corresponde a FP o FN.

**Tabla 1.** Resultados de la comparación del número de hembras de *F. occidentalis* que presentó respuesta de fototaxis positiva (FP) a cada combinación de ledes con diferentes rangos de longitudes de onda con el dispositivo EVA. Los valores con asterisco señalan combinaciones estadísticamente diferentes ( $p<0,05$ ) a partir de análisis basados en la prueba de suma de rangos de Wilcoxon.

	Amarillo-Blanco	Amarillo-Na- ranja	Amarillo-Rojo	Amarillo-Verde	Amarillo-Violeta	Azul-Amarillo	Azul-Blanco	Azul-Naranja	Azul-Rojo	Azul-Verde	Azul-Violeta	Blanco-Naranja	Rojo-Blanco	Rojo-Naranja	Rojo-Verde	Rojo-Violeta	Verde-Blanco	Verde-Naranja	Verde-Violeta	Violeta-Blanco
Amarillo-Naranja	0,8011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amarillo-Rojo	0,0899	0,1381	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amarillo-Verde	0,4011	0,5456	0,476	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amarillo-Violeta	0,2487	0,1898	0,0322	0,1195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azul-Amarillo	0,6109	0,9312	0,1373	0,6045	0,0993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azul-Blanco	0,5473	0,7879	0,2012	0,718	0,138	0,8577	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azul-Naranja	0,4011	0,5456	0,476	1	0,1195	0,6045	0,718	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azul-Rojo	0,5473	0,3556	0,0296	0,1849	0,388	0,1672	0,2113	0,1849	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azul-Verde	0,1808	0,2703	0,8586	0,666	0,048	0,3061	0,3831	0,666	0,0621	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azul-Violeta	0,7936	0,9282	0,0379	0,3239	0,114	0,7842	0,5038	0,3239	0,1908	0,1398	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blanco-Naranja	0,1092	0,1495	0,8551	0,3831	0,0361	0,1723	0,1953	0,3831	0,0471	0,718	0,0733	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rojo-Blanco	0,0899	0,1381	1	0,476	0,0322	0,1373	0,2012	0,476	0,0296	0,8586	0,0379	0,8551	-	-	-	-	-	-	-	-
Rojo-Naranja	0,1092	0,1495	0,8551	0,3831	0,0361	0,1723	0,1953	0,3831	0,0471	0,718	0,0733	1	0,8551	-	-	-	-	-	-	-
Rojo-Verde	0,1225	0,121	0,4414	0,2416	0,1225	0,1202	0,1164	0,2416	0,1164	0,4448	0,0512	0,7526	0,4414	0,7526	-	-	-	-	-	-
Rojo-Violeta	0,1092	0,1495	0,8551	0,3831	0,0361	0,1723	0,1953	0,3831	0,0471	0,718	0,0733	1	0,8551	1	0,7526	-	-	-	-	-
Verde-Blanco	0,7936	0,9282	0,0379	0,3239	0,114	0,7842	0,5038	0,3239	0,1908	0,1398	1	0,0733	0,0379	0,0733	0,0512	0,0733	-	-	-	-
Verde-Naranja	0,0899	0,1381	1	0,476	0,0322	0,1373	0,2012	0,476	0,0296	0,8586	0,0379	0,8551	1	0,8551	0,4414	0,8551	0,0379	-	-	-
Verde-Violeta	0,8653	0,5456	0,0248	0,1972	0,2823	0,3831	0,2819	0,1972	0,6045	0,0767	0,5228	0,0447	0,0248	0,0447	0,0539	0,0447	0,5228	0,0248	-	-
Violeta-Blanco	0,7936	0,9282	0,0379	0,3239	0,114	0,7842	0,5038	0,3239	0,1908	0,1398	1	0,0733	0,0379	0,0733	0,0512	0,0733	10000	0,0379	0,5228	-
Violeta-Naranja	0,0248	0,0292	0,2824	0,1003	0,0163	0,0289	0,0325	0,1003	0,0146	0,2482	0,0073	0,5271	0,2824	0,5271	1	0,5271	0,0073	0,2824	0,0067	0,0073





**Figura 4.** Triángulo LMC para *F. occidentalis*. Las longitudes de onda de máxima emisión de los dispositivos LED corresponden al centro de los círculos. El área de cada círculo es proporcional a la intensidad de la respuesta fototáctica encontrada. La línea de color sian corresponde a los colores espectralmente puros en el sistema visual de *F. occidentalis*. El signo + indica longitudes de onda en pasos de 50 nm

mediadas por la luz, le permiten al herbívoro reconocer el color, la forma, el tamaño y el contraste de sus plantas hospedantes en un entorno particular (Ben-Yakir, 2020). La luz que ingresa al planeta tierra es distorsionada por la atmósfera, la polución, la altitud, la temperatura y humedad relativa, la ubicación geográfica y la hora del día (Van Der Kooi *et al.*, 2021). Cuando se utilizan fuentes de luz activa, como la emitida por dispositivos LED, se minimiza el efecto que puede tener la luz incidente sobre materiales y se maximiza la percepción del estímulo lumínico por los fotoreceptores del insecto (Ben-Yakir, 2020). La tecnología LED permite un uso eficiente de la energía, con larga vida de uso y un espectro de emisión específico comparado con otras fuentes de luz como las lámparas fluorescentes y las lámparas de sodio (Ben-Yakir, 2020). Los LED son ampliamente utilizados en la agricultura porque pueden usarse para estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas (Vänninen *et al.*, 2010), así como la generación de metabolitos secundarios que éstas utilizan para manejo del estrés biótico y abiótico (Al Murad *et al.*, 2021). Además, los LED son utilizados para el manejo etológico, por atracción, repelencia y/o arresto de poblaciones de insectos plaga (Ben-Yakir, 2020; Johansen *et al.*, 2011; Park y Lee, 2017) así como para la generación de nichos de refugio y mejor desempeño de insectos benéficos (Ogino *et al.*, 2016; Ben-Yakir, 2020). En este contexto, el estudio de la respuesta fototáctica de poblaciones locales de una especie insectil a longitudes de onda específicas constituye un conocimiento esencial en las estrategias de manejo integrado de plagas en cultivos.

La respuesta fototáctica positiva de *F. occidentalis* proveniente de cultivos ornamentales y arvenses de la Sabana de Bogotá, reveló un comportamiento similar al encontrado para la especie en zonas templadas del planeta. Al igual que nuestros resultados, estudios controlados con LED

certificados (con ficha de datos técnicos, longitud de onda de emisión estable a variaciones de diferencias de potencial, y un ancho de banda pequeño  $\pm 10$  nm), revelaron mayor respuesta fototáctica positiva para hembras de la especie en el amarillo ( $590 \pm 5$  nm), seguido del verde ( $520 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$ ) y el azul ( $480 \pm 10$  nm) (Yang *et al.*, 2015; Otieno *et al.*, 2018). Además, los resultados obtenidos en nuestro estudio con el dispositivo EVA son consistentes también con los encontrados utilizando otros diseños experimentales (Liu *et al.*, 2022; Lopez-Reyes *et al.*, 2022b) hembras en estados fisiológicos similares (Otieno *et al.*, 2018) y con edades diferentes (Liu *et al.*, 2022; Lopez-Reyes *et al.*, 2022b; Yang *et al.*, 2015) lo que da cuenta que la respuesta no estuvo mediada por factores extrínsecos a los bioensayos sino a la biología propia de la especie. Las longitudes de onda 609 nm (naranja) y 628 nm (rojo) provocaron respuestas de menor atracción en nuestro estudio, como también se ha encontrado en otras investigaciones (Lopez-Reyes *et al.*, 2022a) y se asociaron a menor sensibilidad como se muestra en el análisis del triángulo LMC. Se ha encontrado, por ejemplo, que la luz roja (660 nm) en paneles con LED puede generar un efecto de disuasión o interferencia en la localización de plantas hospedantes para adultos de *F. occidentalis* (Murata *et al.*, 2017) y *Thrips palmi* Karny, 1925 (Murata *et al.*, 2018), ambas Thysanoptera: Thripidae. Sin embargo, debe considerarse la intensidad de emisión del LED (brillo) lo que puede afectar, no solo la respuesta de fototaxis de la especie, sino también, la combinación de diferentes longitudes de onda (superposición de espectros de emisión) que puede afectar la sinergia de atracción-repulsión (Liu *et al.*, 2022).

La comprensión de la visión de los artrópodos desde las especificaciones y convenciones que se utilizan para humanos es un componente fundamental para poder apropiar el conocimiento de la biología y ecología de las especies en el manejo integrado de plagas. Aunque Govardovskii y colaboradores (2000) desarrollaron expresiones matemáticas inicialmente para ojos no compuestos, formados por conos y bastones, estas plantillas han sido usadas exitosamente en el análisis y comprensión de la visión de invertebrados con ojos compuestos y ocelos, como el grillo *Gryllus bimaculatus* (Orthoptera: Gryllidae) (Henze *et al.*, 2012). El análisis de la sensibilidad espectral estimada para hembras de *F. occidentalis* de nuestro estudio reveló que los colores espectralmente puros para esta especie y los seres humanos no son coincidentes entre sí. El color “blanco” que, no es espectralmente puro para los humanos, si lo fuese para *F. occidentalis* en una única frecuencia cercana al color verde. El análisis reveló, también, que los colores correspondientes a longitudes de onda larga (rojo y naranja) no deberían ser ópticamente estimulantes para esta especie, lo que es consistente con los resultados de fototaxia de los bioensayos de este estudio. Este fenómeno puede ser explicado porque al situarse en uno de los extremos del mapa cromático del triángulo LMC, la especie los estaría percibiendo como colores similares, es decir no le sería posible discriminar entre ellos. La comprensión

de los fenómenos estimados mediante estos análisis son críticos para orientar, establecer y evaluar las estrategias de manipulación óptica en el contexto de manejo integrado de plagas con base en las características biológicas y ecológicas de las poblaciones de la especie y no con base en una visión antropocéntrica. Las trampas de luz para manejo etológico de poblaciones de insectos deben diseñarse con base en las características de respuesta óptica específica de cada especie y la caracterización espectral de sus componentes. Evaluación de respuestas fototácticas de poblaciones de insectos utilizando trampas artesanales pueden generar resultados no comparables debido a que no cuentan con estandarización de la emisión o incidencia de luz que constituye el estímulo para el comportamiento de las poblaciones de insectos (Silva-Castaño y Brochero, 2021).

La aplicabilidad del uso de luz LED para el manejo etológico de insectos, en el contexto del manejo integrado de plagas, es indiscutible. El uso de trampas comerciales de color azul y amarillo con pegante en combinación con dispositivos LED dispuestos en tiras, con alimentación de 120 V y encendidos las 24 horas en un cultivo de *Alstroemeria* sin aplicación de insecticidas, reveló un incremento de la captura de *F. occidentalis* entre 3,4 a 4,5 veces comparado con trampas de color con pegante sin iluminación LED. El estudio reveló una reducción del número de thrips en el cultivo de 2,6 a 0,8 individuos por tres inflorescencias (Johansen *et al.*, 2018). Si se tiene en cuenta que los semioquímicos también incrementan la eficacia de atracción de *F. occidentalis* cuando se combinan con trampas de luz pasiva (color) y luz activa (emisión) (Otieno *et al.*, 2018; Davidson *et al.*, 2012), los resultados que se presentan aquí constituyen un aporte importante para el conocimiento de la biología de las poblaciones locales de *F. occidentalis* y para el diseño de trampas para manipulación óptica para vigilancia entomológica y control de la especie mediante trampeo masivo (Cohnstaedt *et al.*, 2018). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los resultados que aquí se presentan, corresponden a hembras caminando y no volando. Es posible que la interpretación de señales para alzar el vuelo, durante éste y en el aterrizaje, sean diferentes a las señales visuales durante el desplazamiento del insecto sin vuelo en la planta. La interpretación de la respuesta fototáctica de las poblaciones locales de la especie, por tanto, debe complementarse con estudios que involucren adultos volando hacia estímulos visuales con y sin señales de olor actuando. Así mismo, el diseño de un sistema de “atracción y captura”, “atracción y muerte” o captura masiva para *F. occidentalis* que involucre dispositivos LED, debe procurar una mayor atracción que los estímulos circundantes para la especie en sistemas de cultivos agrícolas (Cao *et al.*, 2019), lo que permita maximizar la eficacia de manipulación óptica y contribuir con una mayor aceptación y adherencia de estas herramientas por parte de los agricultores en contexto de una agricultura limpia y sostenible (Sampson y Kirk, 2013).

## CONCLUSIONES

Hembras de *F. occidentales* procedentes de cultivos ornamentales y arvense, de 12 a 14 días de edad, con cuatro a cinco horas de ayuno, en bioensayos controlados, revelaron respuesta de fotaxis positiva a fuentes de luz LED de bajo costo en longitudes de onda del azul, amarillo y violeta. Se encontró respuesta de fototaxis negativa a longitudes de onda en el rojo y naranja. Los resultados del presente trabajo aportan al conocimiento de la biología de *F. occidentalis* en Colombia y constituyen información crítica para el diseño de trampas de luz para la manipulación etológica de sus poblaciones en el contexto del manejo integrado de plagas. Se sugiere realizar ensayos en cultivos comerciales que permitan evaluar la eficacia de fuentes de luz LED como herramienta estandarizada de manipulación óptica que involucre la mejora del desempeño de plantas e insectos benéficos, como también la vigilancia y control de plagas. Esto es particularmente importante como complemento a trampas de color, que dependen de la luz del sol para generar estímulos para los insectos.

## PARTICIPACIÓN DE AUTORES

Conceptualización, P.A.A.R., G.L.C.A., F.R.K.M., R.G.R.R. y B.H.; Investigación y Metodología, P.A.A.R., G.L.C.A., R.G.R.R., B.H.; Análisis estadístico y desarrollo de crías, P.A.A.R. y B.H.; Análisis de datos sobre percepción visual, F.R.K.M., R.G.R.R.; Escritura y preparación del borrador original P.A.A.R., F.R.K.M. y B.H.; Escritura, revisión y edición, P.A.A.R., R.G.R.R. y B.H.; Supervisión R.G.R.R. y B.H.; Adquisición de recursos, F.R.K.M., R.G.R.R. y B.H.; Coordinación del proyecto, R.G.R.R.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el apoyo financiero de la Universidad de Cundinamarca y la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá a través de la Convocatoria de proyectos de investigación conjuntos, proyecto 39817. Agradecemos a los estudiantes, egresados, técnicos y administrativos que permitieron la recolección de thrips en los cultivos.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. Los financiadores no tuvieron ningún papel en el diseño del estudio; en la obtención, análisis o interpretación de los datos; en la redacción del manuscrito o en la decisión de publicar los resultados.

## REFERENCIAS

AIPH. (2022). *International Statistics Flowers and Plants 2022*. F Awisus. (f Awisus, Ed.; Vol. 70).



- Al Murad, M., Razi, K., Jeong, B. R., Samy, P. M. A., y Muneer, S. (2021). Light Emitting Diodes (LEDs) as Agricultural Lighting: Impact and Its Potential on Improving Physiology, Flowering, and Secondary Metabolites of Crops. *Sustainability*, 13(4):1985. <https://doi.org/10.3390/su13041985>
- Ben-Yakir, D. editor. (2020). *Optical manipulation of arthropod pests and beneficials*. CAB International.
- Bian, L., Yang, P. X., Yao, Y. J., Luo, Z. X., Cai, X. M., y Chen, Z. M. (2016). Effect of Trap Color, Height, and Orientation on the Capture of Yellow and Stick Tea Thrips (Thysanoptera: Thripidae) and Nontarget Insects in Tea Gardens. *Journal of Economic Entomology*, 109(3):1241-1248. <https://doi.org/10.1093/jee/tow007>
- Calixto-Álvarez, C. L. (2005). Trips del suborden Terebrantia (Insecta: Thysanoptera) from the Bogotá plateau.. *Revista Colombiana de Entomología*, 31(2):207-2013. <https://doi.org/10.25100/socolen.v31i2.9446>
- Cao, Y., Li, C., Yang, H., Li, J., Li, S., Wang, Y., y Gao, Y. (2019). Laboratory and field investigation on the orientation of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) to more suitable host plants driven by volatiles and component analysis of volatiles. *Pest Management Science*, 75(3):598-606. <https://doi.org/10.1002/ps.5223>
- Cohnstaedt, L. W., Disberger, J. C., Paulsen, E., y Duehl, A. J. (2018). Key Elements of Photo Attraction Bioassay for Insect Studies or Monitoring Programs. *J. Vis. Exp*, 137:57445. <https://doi.org/10.3791/57445>
- Commonwealth of Australia. (2019). *Final Pest Risk Analysis for cut flower and foliage Imports-part 1* (p. 244).
- DANE. (2023). *Bolentin Técnico*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística-Gobierno de Colombia. <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/exportaciones/exportaciones-historicos>
- Davidson, M. M., Butler, R. C., y Teulon, D. A. J. (2006). Starvation period and age affect the response of female *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) to odor and visual cues. *Journal of Insect Physiology*, 52(7), 729-736. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2006.03.013>
- Davidson, M. M., Butler, R. C., y Teulon, D. A. J. (2012). Response of Female *Frankliniella occidentalis* (Pergande) to Visual Cues and Para-anisaldehyde in a Flight Chamber. *Journal of Insect Behavior*, 25(3):297-307. <https://doi.org/10.1007/s10905-011-9299-z>
- González-López, C. A. (2023) Desarrollo de un prototipo de trampa electromagnética para la captura de *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera: Thripidae) [Trabajo final maestría en Ciencias-Física]. Universidad Nacional de Colombia.
- Govardoskii, V. I., Fyhrquist, N., Reuter, T., Kuzmin, D. G., y Donner, K. (2000). In search of the visual pigment template. *Visual Neuroscience*, 17(4), 509-528. <https://doi.org/10.1017/S0952523800174036>
- Gunawardana, D. N., Li, D., Masumoto, M., Mound, L. A., O'Donnell, C. A., y Skarlinsky, T. L. (2017). Resolving the confused identity of *Frankliniella panamensis* (Thysanoptera: Thripidae). *Zootaxa*, 4323(1):125. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4323.1.10>
- Henze, M. J., Dannenhauer, K., Kohler, M., Labhart, T., y Gesemann, M. (2012). Opsin evolution and expression in Arthropod compound Eyes and Ocelli: Insights from the cricket *Gryllus bimaculatus*. *BMC Evolutionary Biology*, 12(1), 163. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-12-163>
- International Trade Centre. (2023). *Trade Map*. List of products imported by Colombia, 0603 Flores y capullos, cortados para ramos o adornos, frescos, secos, blanqueados, teñidos, impregnados. <https://www.trademap.org/Index.aspx>
- Johansen, N. S., Torp, T., y Solhaug, K. A. (2018). Phototactic response of *Frankliniella occidentalis* to sticky traps with blue light emitting diodes in herb and Alstroemeria greenhouses. (pp. 120-128) Crop Protection
- Johansen, N. S., Vänninen, I., Pinto, D. M., Nissinen, A. I., y Shipp, L. (2011). In the light of new greenhouse technologies: 2. Direct effects of artificial lighting on arthropods and integrated pest management in greenhouse crops. *Annals of Applied Biology*, 159(1):1-27. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2011.00483.x>
- Kindt, F., Joosten, N. N., Peters, D., y Tjallingii, W. F. (2003). Characterisation of the feeding behaviour of western flower thrips in terms of electrical penetration graph (EPG) waveforms. *Journal of Insect Physiology*, 49(3):183-191. [https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(02\)00255-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(02)00255-X)
- Li, D.Y., Zhou, D., Zhi, J.R., Yue, W.B., y Li, S.X. (2023). Effects of Different Parts of the Rose Flower on the Development, Fecundity, and Life Parameters of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Insects*, 14(1): 88. <https://doi.org/10.3390/insects14010088>
- Liu, Q., Jiang, Y., Miao, J., Gong, Z., Li, T., Duan, Y., y Wu, Y. (2019). Visual response effects of western flower thrips manipulated by different light spectra. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(5):21-27. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191205.4922>
- Liu, Q., Wu, Y., y Zhao, M. (2022). Photo-induced visual response of western flower thrips attracted and repulsed by their phototaxis spectrum light. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 15(2):48-57. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20221502.7049>
- Lopez-Reyes, K., Armstrong, K. F., Teulon, D. A. J., Butler, R. C., Van Dooremalen, C., Roher, M., y Van Tol, R. W. H. M. (2022a). Colour Response in Western Flower Thrips Varies Intraspecifically. *Insects*, 13(6):538. <https://doi.org/10.3390/insects13060538>
- Lopez-Reyes, K., Armstrong, K. F., Van Tol, R. W. H. M., Teulon, D. A. J., y Bok, M. J. (2022b). Colour vision in thrips (Thysanoptera). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 377(1862):20210282. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0282>

- Mainali, B. P., y Lim, U. T. (2010). Circular yellow sticky trap with black background enhances attraction of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Applied Entomology and Zoology*, 45(1): 207-213. <https://doi.org/10.1303/aez.2010.207>
- Matteson, N. A., y Terry, L. I. (1992). Response to color by male and female *Frankliniella occidentalis* during swarming and non-swarming behavior. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 63(2):187-201. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1992.tb01573.x>
- McCormack, K. (2015). *Enhancing the monitoring and trapping of protected crop pests by incorporating LED technology into existing traps*. University of Edinburgh.
- Moritz, G., Mound, L. A., Morris, D. C., y Goldarazena, A. (2004). *Pest thrips of the world—Visual and molecular identification of pest thrips*. Thrips of the world. <https://thripsnet.zoologie.uni-halle.de/key-server-neu/data/09070302-040a-4006-8c08-0e0105060801/media/Html/index.html>
- Murata, M., Hariyama, T., Yamahama, Y., Toyama, M., y Ohta, I. (2018). In the presence of red light, cucumber and possibly other host plants lose their attractability to the melon thrips *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae). *Applied Entomology and Zoology*, 53(1), 117-128. <https://doi.org/10.1007/s13355-017-0537-5>
- Murata, M., Hariyama, T., Yamahama, Y., y Toyama, M. (2017). Red light deters female adults of the melon thrips.pdf. *Annual Report of The Kansai Plant Protection Society*. <https://doi.org/10.4165/kapps.59.93>
- Ogino, T., Uehara, T., Muraji, M., Yamaguchi, T., Ichihashi, T., Suzuki, T., Kainoh, Y., y Shimoda, M. (2016). Violet LED light enhances the recruitment of a thrip predator in open fields. *Scientific Reports*, 6(1):32302. <https://doi.org/10.1038/srep32302>
- Otani Y., Wakakuwa M., y Arikawa K. (2014). Relationship between Action Spectrum and Spectral Sensitivity of Compound Eyes Relating Phototactic Behavior of the Western Flower Thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 58(3):177-185. <https://doi.org/10.1303/jjaez.2014.177>
- Otieno, J. A., Stukenberg, N., Weller, J., y Poehling, H.M. (2018). Efficacy of LED-enhanced blue sticky traps combined with the synthetic lure Lurem-TR for trapping of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*). *Journal of Pest Science*, 91(4):1301-1314. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1005-x>
- Park, J.H. y Lee, H.S. (2017). Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored-product insects to light-emitting diodes (LEDs). *Applied Biological Chemistry*, 60(2):137-144. <https://doi.org/10.1007/s13765-017-0263-2>
- Pizzol, J., Nammour, D., Hervouet, P., Bout, A., Desneux, N., y Mailleret, L. (2010). Comparison of two methods of monitoring thrips populations in a greenhouse rose crop. *Journal of Pest Science*, 83(2):191-196. <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0286-5>
- Reitz, S. R., Gao, Y., Kirk, W. D. J., Hoddle, M. S., Leiss, K. A., y Funderburk, J. E. (2020). Invasion Biology, Ecology, and Management of Western Flower Thrips. *Annual Review of Entomology*, 65(1):17-37. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-024947>
- Ren, X., Wu, S., Xing, Z., Xu, R., Cai, W., y Lei, Z. (2020). Behavioral Responses of Western Flower Thrips (*Frankliniella occidentalis*) to Visual and Olfactory Cues at Short Distances. *Insects*, 11(3):177. <https://doi.org/10.3390/insects11030177>
- Riley, D. G., Joseph, S. V., Srinivasan, R., y Diffie, S. (2011). Thrips Vectors of Tospoviruses. *Journal of Integrated Pest Management*, 2(1):11-110. <https://doi.org/10.1603/IPM10020>
- RStudio Team. (2022). *RStudio: Integrated Development for R*. PBC, Boston, MA [Software]. <http://www.rstudio.com>
- Rushton, W. A. H. (1972). Review Lecture. Pigments and signals in colour vision. *The Journal of Physiology*, 22(3). <https://doi.org/doi:10.1113/jphysiol.1972.sp009719>
- Sampson, C. y Kirk, W. D. J. (2013). Can Mass Trapping Reduce Thrips Damage and Is It Economically Viable? Management of the Western Flower Thrips in Strawberry. *PLoS ONE*, 8(11), e80787. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080787>
- Silva-Castaño, A. F. y Brochero, H. L. (2021). Abundance and flight activity of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in a female chrysanthemum crop for seeding, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 39(2): 216-225. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n2.95978>
- Strzyzewski, I., Funderburk, J., y Martini, X. (2023). Specificity of vectoring and non-vectoring flower thrips species to pathogen-induced plant volatiles. *Journal of Pest Science*, 96:441-449. <https://doi.org/10.1007/s10340-022-01588-z>
- Stukenberg, N., Pietruska, M., Waldherr, A., y Meyhöfer, R. (2020). Wavelength-Specific Behavior of the Western Flower Thrips (*Frankliniella occidentalis*): Evidence for a Blue-Green Chromatic Mechanism. *Insects*, 11(7):423. <https://doi.org/10.3390/insects11070423>
- Tay, A., Lafont, F., Balmat, J. F., Pessel, N., y Lhoste-Drouineau, A. (2021). Decision support system for Western Flower Thrips management in roses production. *Agricultural Systems*, 187:103019. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103019>
- Van Der Kooi, C. J., Stavenga, D. G., Arikawa, K., Belušič, G., y 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>
- Van Tol, R. W. H. M., Torn, J., Roher, M., Schreurs, A., y van Dooremalen, C. (2021). Haze of glue determines preference of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*)

- for yellow or blue traps. *Scientific Reports*, 11(6557). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86105-5>
- Vänninen, I., Pinto, D. M., Nissinen, A. I., Johansen, N. S., y Shipp, L. (2010). In the light of new greenhouse technologies: 1. Plant-mediated effects of artificial lighting on arthropods and tritrophic interactions. *Annals of Applied Biology*, 157(3):393-414. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00438.x>
- Vernon, R. S., y 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*, 87, 38-41. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/181002>
- Yang, J.Y., Sung, B.K., y Lee, H.S. (2015). Phototactic behavior 8: Phototactic behavioral responses of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae), to light-emitting diodes. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 58(3):359-363. <https://doi.org/10.1007/s13765-015-0055-5>