





Dispersión espacio-temporal de *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae) en cultivo de zarzamora para el control de *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae)


Spatio-temporal dispersion of *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae) in blackberry crops for the control of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae)



Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)

CÉSAR GÁLVEZ¹ , RAFAEL BARAJAS-URZUA², YADIRA CONTRERAS-BERMÚDEZ¹ , JORGE A. SÁNCHEZ-GONZÁLEZ¹ , JAIME GONZÁLEZ-CABRERA^{1*} 

*Autor correspondiente:

 Jaime González Cabrera
jgonz017@ucr.edu

¹Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, SENASICA-DGSV-CNRF. Km 1.5 Carretera Tecomán-Estación FFCC, Col. Tepeyac C.P. 28110, Tecomán, Colima, México.

²Instituto Da Vinci, Abasolo #138, Col. Centro C.P. 28130, Tecomán, Colima, Mexico.

Cómo citar:

Gálvez, C., Barajas-Urzuza, R., Contreras-Bermúdez, Y., Sánchez-González, J. A., González-Cabrera, J. (2026) Dispersión espacio-temporal de *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae) en cultivo de zarzamora para el control de *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 42, 1–13.

Editor responsable: Trevor Williams

RESUMEN. La producción de frutillas es una actividad económica importante para México, que genera 500,000 empleos directos. Sin embargo, desde 2011, esta agroindustria está en riesgo por la presencia de la mosca de la fruta de alas manchadas, *Drosophila suzukii*. Para su control, se realizan liberaciones de 4,500 parasitoides de *Trichopria drosophilae*/ha cada quince días en un patrón de “5 de oros”, logrando una reducción del 50% de la población.

10.21829/azm.2026.4212830
elocation-id: e4212830

Recibido: 15 enero 2026
Aceptado: 29 abril 2026
Publicado: 27 mayo 2026



Para hacer más eficiente la liberación de *T. drosophilae*, se evaluó su dispersión radial a 25 y 50 m en ocho direcciones cardinales y temporal (2, 4, y 6 días post-liberación), en un huerto comercial de zarzamora de 1 ha rodeado por vegetación arbórea, en el norte del estado de Colima. Se liberaron un total de 4,500 adultos de *T. drosophilae*/ha desde un punto central, y su dispersión fue evaluada usando trampas centinelas a base de *Drosophila melanogaster*. Las trampas fueron colocadas uniformemente considerando la orientación de ocho puntos cardinales, y fueron recolectadas a 2, 4, y 6 días después de la liberación. Los resultados mostraron patrones de dispersión variables dependiendo de la distancia y del tiempo; sin embargo, el análisis general de los datos reveló una distribución uniforme, es decir, *T. drosophilae* se dispersa homogéneamente hasta 50 m del punto de liberación en un plazo de seis días. Además, se registró una reducción significativa del 75% en el parasitismo a los seis días posteriores a la liberación. Estos hallazgos aportan información que contribuyen a fortalecer las recomendaciones técnicas de liberación de *T. drosophilae* en campo, tanto en la frecuencia como en los puntos de liberación. Se sugiere poner en práctica estos nuevos conocimientos para mejorar el control biológico de *D. suzukii* en cultivos de frutillas en México.

Palabras clave: control biológico; frutillas; moscas de la fruta; parasitoides; puntos cardinales

ABSTRACT. The Berry production is an important economic activity for Mexico, generating 500,000 direct jobs. However, since 2011, this agroindustry has been at risk due to the presence of the spotted-wing drosophila, *Drosophila suzukii*. For its control, releases of 4,500 *Trichopria drosophilae* parasitoids per hectare are carried out every fifteen days in a “five of diamonds” pattern, achieving a 50% reduction in the pest population. To improve the efficiency of *T. drosophilae* releases, its radial dispersal was evaluated at 25 and 50 m in eight cardinal directions, at 2, 4, and 6 days post-release, in a 1-ha commercial blackberry orchard surrounded by arboreal vegetation in northern Colima State. A total of 4,500 *T. drosophilae*/ha were released from a central point, and their dispersal was assessed using sentinel traps baited with *Drosophila melanogaster* pupae. The traps were placed uniformly, considering the orientation of the eight cardinal points, and were collected at 2, 4, and 6 days after release. The results showed variable dispersal patterns depending on distance and time; however, the overall data analysis revealed a uniform distribution in which *T. drosophilae* disperse homogeneously up to 50 m from the release point within six days. Additionally, a significant 75% reduction in parasitism was recorded at six days post-release. These findings provide information that strengthens the technical recommendations for field releases of *T. drosophilae*, both in terms of frequency and release points. The implementation of these new insights could improve the biological control of *D. suzukii* in berry crops in Mexico.

Key words: biological control; berries; fruit flies; parasitoids; cardinal points

INTRODUCCIÓN

La producción de frutillas (fresas, cerezas, frambuesas, arándanos, zarzamoras, y otras frutillas) es de gran importancia económica para México (Lagunes-Fortiz *et al.*, 2020). En el país se cultivan aproximadamente 42,975 hectáreas, con una producción aproximada de 1.15 millones de toneladas de fruta fresca al año. Esta actividad genera alrededor de 500,000 empleos directos en las principales regiones productoras (SENASICA, 2023; Aneberries, 2024). Sin embargo, desde

2011, el cultivo de frutillas enfrenta un alto nivel de riesgo por la presencia de *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae), conocida como la mosca del vinagre de alas manchadas (CABI, 2015; Castro-Sosa *et al.*, 2017). A diferencia de otras especies de *Drosophila* que proliferan en fruta maduras, las hembras de *D. suzukii* poseen un ovipositor aserrado que puede perforar los frutos en proceso de maduración. Este comportamiento, sumado a su carácter multivoltino, alta fecundidad, amplia gama de hospederos y su capacidad de persistir en una gran cantidad de plantas silvestres, favorece el crecimiento poblacional y dificulta su manejo (Yi *et al.*, 2020; Hogg & Daane, 2024).

A nivel mundial, las pérdidas económicas por *D. suzukii* se han estimado en 100% en cultivos orgánicos y alrededor del 60% en cultivos convencionales (Asplen *et al.*, 2015; Farnsworth *et al.*, 2017). En consecuencia, el manejo de *D. suzukii* se ha basado principalmente en insecticidas de amplio espectro (Hogg & Daane, 2024). Aunque la aplicación de estos productos reduce las poblaciones adultas, su uso continuo puede inducir a la resistencia en plagas primarias, la resurgencia de plagas secundarias y genera efectos negativos sobre polinizadores y enemigos naturales (Farnsworth *et al.*, 2017). Por tal motivo se han implementado prácticas alternativas, como el uso de insecticidas botánicos, el trampeo masivo y la producción bajo cubierta. Sin embargo, estas estrategias son costosas debido a los altos requerimientos de mano de obra e insumos (Asplen *et al.*, 2015; Hogg & Daane, 2024). En este contexto, dentro de los sistemas de producción de frutillas resulta crucial integrar enemigos naturales con alto potencial de control de *D. suzukii* en programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) (Haye *et al.*, 2016).

Entre los enemigos naturales para control de esta plaga, los parasitoides representan una alternativa prometedora (Hogg & Daane, 2024; 2025). Debido a su capacidad de dispersión, forrajeo y especificidad hacia el hospedero, el parasitismo puede reducir poblaciones de hospederos tanto en los cultivos como en áreas circundantes, las cuales actúan como reservorios de poblaciones silvestres de la plaga (Hogg & Daane, 2025). Globalmente, más de 32 especies de parasitoides han sido reportadas atacando a *D. suzukii* (Asplen *et al.*, 2015). Entre ellas, destaca *Trichopria drosophilae* (Perkins) (Hymenoptera: Diapriidae), un endoparásitoide cosmopolita de pupas del género *Drosophila*, reconocido por su alta capacidad de adaptación, amplia distribución geográfica, tolerancia térmica, la facilidad para su cría masiva y capacidad de dispersión (Rossi-Stacconi *et al.*, 2018). Además, posee una marcada preferencia por *D. suzukii*, en comparación con otras especies de moscas del mismo género (Boycheva *et al.*, 2019; Häussling *et al.*, 2021; Yi *et al.*, 2020).

La eficacia de *T. drosophilae* para controlar a *D. suzukii* ha sido evaluada en condiciones de campo en diversos países, incluido México. Ensayos realizados en cultivos de frutillas en Italia demostraron que este parasitoide es capaz de parasitar pupas localizadas hasta 40 m del punto de liberación y reducir significativamente la emergencia de la plaga cuando se localiza en un radio de 10 m (Rossi-Stacconi *et al.*, 2018). Las liberaciones inundativas con densidades de 0.3 a 4.5 individuos por m² han disminuido de manera drástica las poblaciones de *D. suzukii* en plantaciones de frutillas en USA (Rossi-Stacconi *et al.*, 2019). En México, se realizaron liberaciones en parcelas agrícolas en los estados de Colima y Jalisco donde se concluyó que, en promedio, la liberación quincenal de una densidad de 4,500 parasitoides por hectárea reduce la densidad poblacional de la plaga en un 50% (González-Cabrera *et al.*, 2019; González-Cabrera & Contreras-Bermúdez, 2024).

En México, las recomendaciones técnicas actuales indican liberar 4,500 parasitoides siguiendo un patrón "de 5 de oros" con separaciones de 25 metros (González-Cabrera & Contreras-Bermúdez, 2024). Con el objetivo de incrementar el desempeño y hacer más eficiente la liberación de *T. drosophilae* en campo, y maximizar su impacto en la reducción de las poblaciones de *D. suzukii* en cultivos de frutillas. Se evaluó la dispersión radial y temporal de *T. drosophilae* realizando liberaciones inundativas en una plantación de zarzamora ubicado en el norte del estado de Colima. Con los resultados se conocerá el comportamiento de dispersión del parasitoide desde una perspectiva espacio-temporal para definir los tiempos de liberación que pueden ser parte de la estrategia del programa de manejo de plagas en cultivos de frutillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de procesamiento de datos y área experimental. La fase de laboratorio se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB), una institución del ámbito federal, ubicado en Tecomán, Colima (18°55'37.73" N; 103°53'0.4" O), y la fase de campo se llevó a cabo en el municipio de Cuauhtémoc, Colima, específicamente en el rancho "Agrícola Santa Leticia" (19.40171 N, -103.62281 O), el cual tiene una hectárea de cultivo de zarzamora variedad 'Eréndira'. El cultivo está rodeado por vegetación natural y/o introducida de carácter arbórea, como casuarina (*Casuarina equisetifolia*), tacote blanco (*Ipomoea arborescens*), eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) y parotas (*Enterolobium cyclocarpum*), es decir, es un agroecosistema aislado tipo "oasis". Las actividades de las dos fases experimentales se desarrollaron de enero a agosto de 2025.

Obtención del material biológico (moscas y parasitoides). Los adultos de *T. drosophilae* y las pupas de *D. melanogaster* se obtuvieron de las colonias establecidas en el CNRCB. La colonia del parasitoide se mantiene utilizando pupas jóvenes de *D. melanogaster* como huésped. Ambas especies se mantuvieron bajo condiciones controladas de laboratorio: el parasitoide a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ y $60 \pm 5\%$ de humedad relativa, y el díptero $23 \pm 1^\circ\text{C}$ y $40 \pm 5\%$ HR. Para el mantenimiento del huésped y parasitoide, se utilizó una dieta artificial enriquecida, la cual se describe en el párrafo siguiente (González-Cabrera *et al.*, 2022).

Ingredientes de la dieta artificial. La dieta para drosófilidos utilizada se preparó siguiendo la metodología descrita por González-Cabrera *et al.*, (2022). La dieta consistió en los siguientes ingredientes: agua purificada (600 ml), germen de trigo crudo (100 g), azúcar de mesa (45 g), salvado de trigo (40 g), harina de maíz (36 g), levadura (15 g), soya molida (8 g), alcohol etílico (12 ml), ácido clorhídrico (1M) (25 gotas), benzoato de sodio (1.2 g), propilparabeno (1.2 g), ácido ascórbico (0.6 g) y sorbato de potasio (0.3 g). La preparación final se distribuyó en 10 cajas Petri (7 cm de diámetro por 1 cm de altura), quedando lista para su uso como sustrato de oviposición.

Liberación del parasitoide. La evaluación de *T. drosophilae* consistió en la liberación de 4,500 parasitoides por hectárea desde el centro de la parcela; la densidad liberada se ajustó según las recomendaciones técnicas establecidas (González-Cabrera & Contreras-Bermúdez, 2024). Los parasitoides fueron recién emergidos (< 24 horas de edad) en las instalaciones del CNRCB, y colectados (aspirados) en un contenedor de 100 ml (4.5 cm de diámetro × 9 cm de alto) que contenía una tira de papel encerado con gotas de miel al 70% (v/v) en agua, utilizada como fuente de alimento. Para efectuar la liberación, estos contenedores fueron trasladados a la parcela experimental, y una vez ahí, los contenedores se abrieron para permitir la salida de los parasitoides. La liberación se efectuó a una altura aproximada de 15 cm sobre el nivel del suelo.

El diseño experimental de las liberaciones consistió en cuatro repeticiones, realizadas con un intervalo de al menos un mes entre cada evento para evitar el solapamiento entre los lotes de parasitoides liberados. En este estudio, cada repetición se consideró como una unidad experimental independiente, garantizando la constancia en las condiciones de liberación y evaluación en todas las ocasiones.

Instalación de las trampas centinela. Las trampas centinela consistieron en recipientes de plástico de 250 mL (7 cm de diámetro × 8.5 cm de alto) con dos ventanas (6 cm de ancho × 4 cm de alto) cubiertas con tela tul (malla de 1.3 mm) para que el parasitoide pudiera entrar. A cada recipiente se le hizo una perforación en la parte central de la tapa para insertar un alambre para suspenderlos. Se instalaron 25 trampas distribuidas uniformemente en una hectárea del cultivo de zarzamora, orientadas hacia cada punto cardinal, separadas 25 m entre sí y a una altura aproximada de 1 m sobre el nivel del suelo. En cada trampa se colocó una rebanada de plátano, y encima se colocaron 20 pupas de *Drosophila melanogaster* de ≤ 12 h de edad. Cada trampa fue numerada para identificar el punto geográfico en el que fue colocada. Las trampas se colocaron 2, 4, y 6 días después de la liberación del parasitoide, y permanecieron 48 h en campo. Posteriormente fueron retiradas y se trasladaron al laboratorio de Insectos Entomófagos del CNRCB para la estimación del parasitismo.

Estimación del parasitismo de *Trichopria drosophilae*. Las rebanadas de plátano de las trampas centinelas, conteniendo las pupas, fueron extraídas y trasladadas dentro de recipientes de plástico de 50 mL cuya tapa fue sellada con tela de organza, donde permanecieron durante un mes y medio para garantizar la emergencia y muerte natural de todos los parasitoides a partir de las pupas parasitadas. Los cuerpos muertos de los adultos emergidos fueron observados con un microscopio estereoscópico Stemi 305 (Zeiss), y las emergencias se registraron por fecha de liberación, número de trampa y día de post-liberación. El parasitismo se determinó considerando la proporción de parasitoides emergidos respecto al total de pupas por trampa, evaluado a 48 h (segundo día), 96 h (cuarto día) y 144 h (sexto día) post-liberación en cada punto cardinal.

Análisis de datos. Los análisis de datos se realizaron con el Software R, Jamovi versión 2.6.44 (Jamovi, 2024) con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Para cada repetición y trampa, se consideró la sumatoria de los parasitoides emergidos. Para evaluar la uniformidad de las emergencias de adultos del parasitoide entre los puntos cardinales por distancia desde el punto de liberación (25 y 50 m), se aplicó una prueba de proporciones mediante el estadístico χ^2 de bondad de ajuste de Pearson. Se consideró una distribución homogénea esperada entre las ocho direcciones geográficas. Estas pruebas se realizaron de manera independiente para cada fecha de evaluación (2, 4 y 6 días post-liberación).

Para determinar la normalidad y homocedasticidad de los residuos, se aplicaron las pruebas de Shapiro–Wilk y Bartlett, respectivamente. Para analizar la distribución espacial global del parasitoide, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor, utilizando como variable de respuesta la proporción total de parasitoides por cada punto cardinal, con los datos agrupados entre distancias y tiempos de evaluación, con el objetivo de determinar la existencia de patrones direccionales generales en la dispersión.

Para estimar la distribución temporal del parasitoide considerando el número de insectos registrados durante el periodo de evaluación, el porcentaje de parasitismo se analizó mediante un ANOVA de medidas repetidas, considerando el tiempo de evaluación y la distancia como factores. En este análisis, cada trampa fue considerada como la unidad experimental evaluada

repetidamente en el tiempo. Cuando se detectaron diferencias estadísticas significativas, las comparaciones múltiples de medias se realizaron aplicando la prueba post hoc de Tukey.

RESULTADOS

La distribución espacial del parasitoide *T. drosophilae* a 25 m del punto de liberación presentó diferencias estadísticas significativas, con una dispersión heterogénea entre los ocho puntos cardinales en los tres reemplazos de trampas. A dos días posteriores a la liberación ($gl = 7$, $\chi^2 = 32.6$, $P < 0.001$), las mayores cantidades de individuos ocurrió en los puntos del Sur (24.04%) y el Sureste (21.15%) (Fig. 1–Día 2), ambos puntos concentraron el 45.19% de la población que fue capturada ($n = 47$ adultos). Cuatro días después de la liberación ($gl = 7$, $\chi^2 = 22.4$, $P = 0.002$), la mayor abundancia se detectó hacia el Este (25.53%) (Fig. 1–Día 4), donde se agrupó más de una cuarta parte de la población total ($n = 24$ adultos). A los seis días post-liberación ($gl = 7$, $\chi^2 = 24.9$, $P = 0.001$), la mayor concentración de individuos se registró hacia el Suroeste (29.63%) (Fig. 1–Día 6), concentrando cerca del 30% de la población total ($n = 8$ adultos).

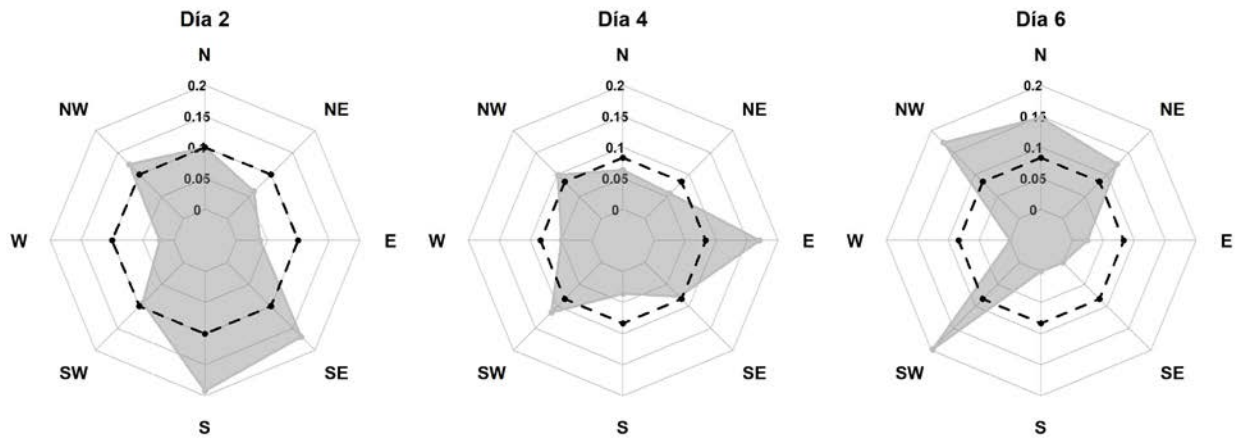


Figura 1. Dispersión espacio-temporal de *Trichopria drosophilae* a 25 m a partir del punto de liberación, evaluada a 2, 4 y 6 días post-liberación. Las líneas punteadas indican la proporción esperada en un escenario de distribución homogénea, mientras que las áreas sombreadas en gris representan las proporciones de parasitoides emergidos en cada punto cardinal. La uniformidad de la dispersión fue evaluada mediante una prueba de bondad de ajuste χ^2 de Pearson para cada tiempo de evaluación, evidenciando patrones direccionales de desplazamiento que varían a través del tiempo.

Por otro lado, la distribución espacial de *T. drosophilae* a 50 m del punto central mostró diferentes patrones de dispersión a lo largo del tiempo. A los dos días posteriores a la liberación se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos ($gl = 7$, $\chi^2 = 54.5$, $P < 0.001$), registrándose la mayor proporción de individuos capturados hacia el Este (22.89%) (Fig. 2–Día 2), lo que presentó casi una cuarta parte de la población observada ($n = 57$ adultos). De manera similar, a los cuatro días se observaron diferencias significativas entre los puntos cardinales ($gl = 7$, $\chi^2 = 33.9$, $P < 0.001$), con la mayor abundancia de individuos hacia el Noreste (22.6%) (Fig. 2–Día 4), agrupando cerca de una cuarta parte de la población recuperada ($n = 33$ adultos). En contraste, a los seis días después de la liberación, la distribución del parasitoide no difirió significativamente de una distribución uniforme ($gl = 7$, $\chi^2 = 11.2$, $P = 0.131$). Estos resultados indican que el parasitoide se dispersó de manera homogénea en las ocho direcciones cardinales

hasta los 50 m de distancia, sin presentar agregación ni preferencia por ningún punto cardinal (Fig. 2–Día 6).

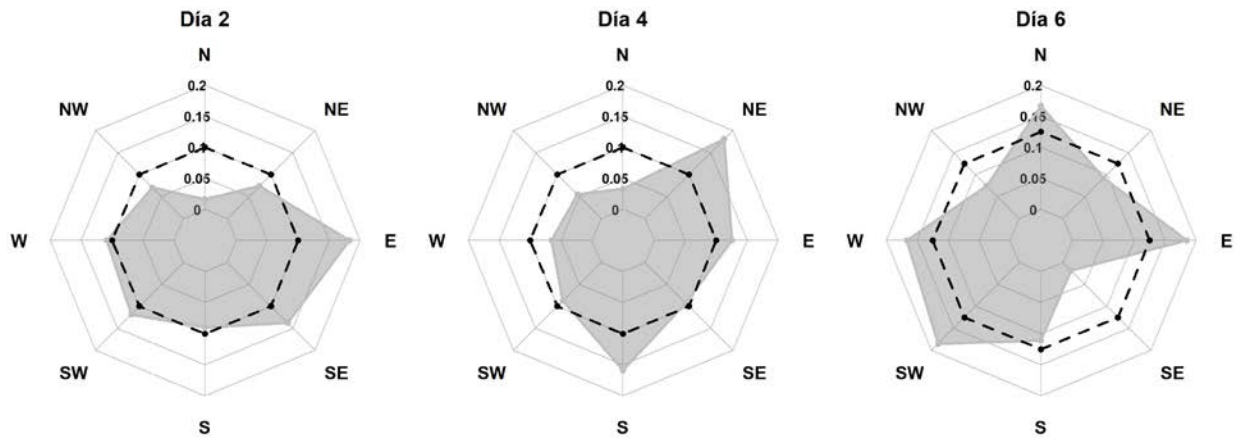


Figura 2. Dispersión espacio-temporal de *Trichopria drosophilae* a 50 m respecto al punto de liberación, evaluado a los 2, 4 y 6 días post-liberación. Las áreas sombreadas en gris corresponden a las proporciones de parasitoides emergidos en cada punto cardinal, mientras que las líneas discontinuas representan una distribución homogénea esperada. La uniformidad de la dispersión fue analizada mediante la prueba de χ^2 de Pearson para cada tiempo de evaluación, mostrando cambios en el patrón de desplazamiento del parasitoide a través del tiempo.

Con respecto a la distribución espacial del parasitoide *T. drosophilae*, no hubo diferencias significativas entre los valores de capturas ($gl = 7, 40$; $F = 0.332$, $P = 0.934$). Las proporciones poblacionales oscilaron entre 10% y 15% (48 y 99 adultos, respectivamente), manteniéndose relativamente constantes en todas las direcciones evaluadas (Fig. 3a), lo que sugiere una dispersión uniforme del parasitoide en el área experimental, sin evidencia de un desplazamiento preferencial hacia alguno de los puntos cardinales.

Al analizar la distribución temporal general del parasitoide (combinando ambas distancias 25 y 50 m), se detectaron diferencias estadísticas significativas entre días ($gl = 2, 28$; $F = 14.66$, $P < 0.001$). Las proporciones de poblacionales registradas al día 2, en ambas distancias (25 y 50 m), fueron significativamente diferentes en comparación con las proporciones observadas el día 6. A 25 m, el promedio (\pm E.E.) de parasitismo disminuyó de $16.25 \pm 3.44\%$ a $4.22 \pm 1.20\%$, este hecho indicó una reducción del 74% en la población registrada. A 50 m, la disminución fue de $19.45 \pm 3.44\%$ a $4.22 \pm 1.20\%$, equivalente a una reducción de aproximadamente de 78% (Fig. 3b). Considerando ambas distancias el nivel de parasitismo al día 6 representó aproximadamente 25% del registrado al día 2, lo que indicó una disminución total de 75% en la actividad parasitaria durante el periodo de evaluación.

DISCUSIÓN

Con base a los resultados obtenidos, se observaron patrones de dispersión de parasitismo variables dependiendo de la distancia y del tiempo. A 25 m, se registraron patrones heterogéneos de dispersión a lo largo del periodo de evaluación, con distribuciones agregadas hacia diferentes puntos cardinales según los días post-liberación: hacia el Sur y Sureste a los 2 días, hacia el Este a los 4 días y hacia el Suroeste a los 6 días. A 50 m también se observaron patrones heterogéneos

de dispersión, pero distintos: a los 2 días el pico de parasitismo se presentó hacia el Este y a los 4 días hacia el Noreste; sin embargo, a los 6 días la distribución fue uniforme entre las ocho direcciones geográficas evaluadas.

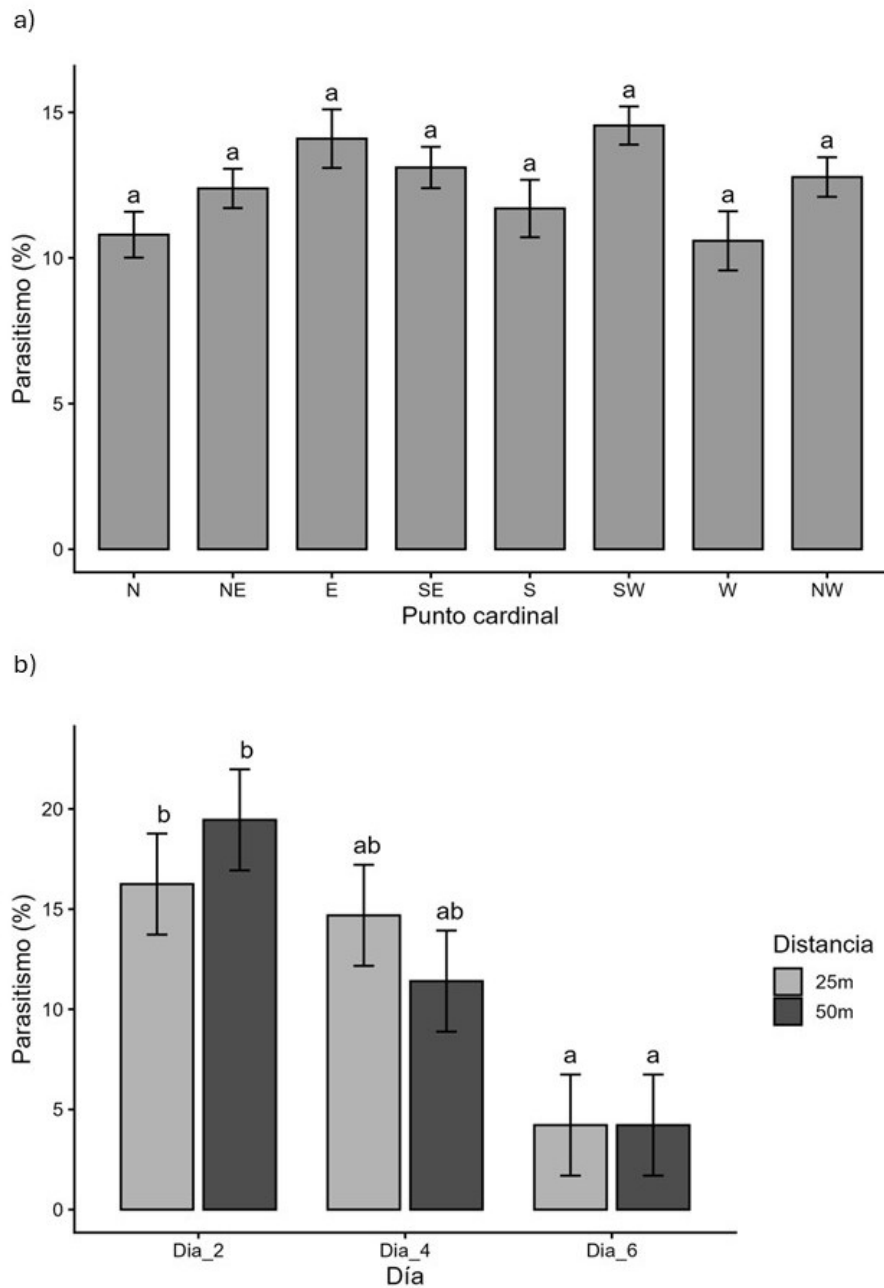


Figura 3. Distribución de *Trichopria drosophilae* en (a) espacio y (b) tiempo. (a) Proporción de parasitoides por punto cardinal, con los datos agrupados entre distancias (25 y 50 m) y tiempos de evaluación (2, 4 y 6 días); el análisis se realizó mediante un ANOVA de una vía. (b) Porcentaje de parasitismo registrado a los 2, 4 y 6 días post-liberación considerando ambas distancias de muestreo; los datos se analizaron mediante un ANOVA de medidas repetidas. Las *barras de error* representan las medias (\pm E.E.) de cada tratamiento; letras minúsculas diferentes sobre las barras indican diferencias significativas (prueba Tukey, $\alpha = 0.05$).

Al analizar los datos registrados en todas las direcciones y distancias, se determinó que la distribución general del parasitismo fue uniforme entre las direcciones de los puntos cardinales. Este resultado indica que *T. drosophilae* es capaz de dispersarse hasta 50 m a partir del punto de liberación en un periodo máximo de seis días, alcanzando una distribución homogénea en todas las direcciones causando un promedio de parasitismo de 29.6%. A pesar de que el nivel de parasitismo observado es moderado, posee un potencial práctico para el control biológico de *D. suzukii*. En condiciones de campo en México, se han reportado reducciones de la plaga hasta del 50% mediante liberaciones aumentativas utilizando la misma densidad de insectos (González-Cabrera *et al.*, 2019; González-Cabrera & Contreras-Bermúdez, 2024). En el escenario de liberaciones más frecuentes, se esperaría un efecto acumulativo del parasitoide, lo que resultaría en un mayor aumento de su eficacia. Esto favorecería aún más su integración en programas de MIP en cultivos de frutilla.

Esta uniformidad de distribución hasta 50 m alrededor del punto de liberación coincide con reportes de campo en Italia y Estados Unidos, donde se ha documentado que *T. drosophilae* alcanza pupas de *D. suzukii* hasta 40 m a partir del punto de liberación (Rossi-Stacconi *et al.*, 2018; 2019). El patrón de distribución homogénea indica que, a escala de una hectárea, la densidad liberada del parasitoide puede cubrir el área de manera efectiva. Esto respalda su liberación en densidades puntuales (4,500 individuos/ha en un solo punto de liberación), en contraste con el esquema previo de liberación en patrón de "cinco de oros" (González-Cabrera *et al.*, 2019; González-Cabrera & Contreras-Bermúdez, 2024), siempre y cuando se consideren condiciones ambientales y geográficas comparables a las de este estudio. La parcela experimental se caracterizó por ser un sistema agrícola rodeado de abundante vegetación arbórea (= oasis agrícola). Este tipo de hábitat seminatural puede actuar no solo como modificador de la dispersión, sino también como reservorio de *D. suzukii* y sus parasitoides, como se ha documentado en campos de frutillas en California (Hogg & Daane, 2025). Por lo tanto, consideramos que la presencia de vegetación arbórea circundante probablemente favoreció la dispersión homogénea observada, al proporcionar refugio, proveer de un microclima estable y fuentes alternativas de hospederos.

También se observaron patrones de dispersión de la población de *T. drosophilae* hacia determinados cuadrantes geográficos en los días 2 y 4 (principalmente hacia el Sur, Sureste y Este); no obstante, en el día 6 se observó una distribución espacial uniforme. Esta dispersión inicial pudo deberse a factores, como la heterogeneidad microambiental del sitio (temperatura, humedad relativa o radiación solar) y al comportamiento exploratorio inicial propio de los parasitoides tras su liberación. Además, estudios previos indican que el viento influye significativamente en la dispersión de parasitoides himenópteros, alterando patrones de distribución inicial (Bell *et al.*, 2013; Hernández Mahecha & Manzano, 2016). En este contexto, la dispersión observada en los primeros tiempos puede asociarse al rol del viento y la dispersión de parasitoides pequeños como *T. drosophilae*. Dado que la liberación se realizó a favor del viento y a baja altura (15 cm sobre el nivel del suelo), es probable que los adultos hayan sido transportados hacia las direcciones predominantes durante las primeras horas posteriores a la liberación. Sin embargo, la distribución homogénea posteriormente es consistente con la biología de parasitoides, en la que las hembras se desplazan activamente hacia zonas con menor presencia de conspecíficos y mayor disponibilidad de pupas sin parasitar (Rossi-Stacconi *et al.*, 2018; Quicray *et al.*, 2023). En términos generales, las hembras de parasitoides son capaces de reconocer hospederos parasitados por

conspecíficos y ajustar su conducta en función de los beneficios esperados; este comportamiento ha sido reportado para *T. drosophilae* (González-Cabrera & Contreras-Bermúdez, 2024).

En ambas distancias evaluadas se registró una reducción significativa del parasitismo desde el día 2 hasta el día 6. Estos valores indican que *T. drosophilae* tiene mayor capacidad de parasitismo durante las primeras 96 h después de la liberación, pero a las 144 h el parasitismo se reduce de forma notable. Esta disminución puede explicarse por varios factores, la esperanza de vida de *T. drosophilae* es limitada en condiciones de campo; la disponibilidad restringida de alimento puede reducir su longevidad significativamente a cuatro días de vida después de su liberación (Fadamiro & Heimpel, 2001; Rossi-Stacconi *et al.*, 2018). Otra causa es que a los seis días una fracción de los parasitoides pudo haberse desplazado fuera del radio de muestreo (≥ 50 m) (Hogg & Daane, 2025). Asimismo, las condiciones ambientales extremas propias del campo (temperaturas altas, humedad fluctuante, presencia de lluvias) pueden acelerar la mortalidad de adultos, a diferencia de lo que ocurre en condiciones controladas de laboratorio (Xia *et al.*, 2025).

Este estudio presenta una limitación metodológica importante relacionada con el uso de pupas de *D. melanogaster* como trampas centinelas para estimar el parasitismo. Si bien el uso de este tipo de trampas es común para evaluar el parasitismo de *T. drosophilae* (Hogg *et al.*, 2022; Hogg & Daane, 2025), las condiciones específicas del cultivo pudieron haber reducido la capacidad parasítica del parasitoide en las trampas centinelas. Durante el periodo de evaluación, el cultivo de zarzamora presentaba frutos en proceso de maduración y maduros. En consecuencia, es probable que existieran poblaciones constantes de *D. suzukii*, favorecidas por la disponibilidad continua de hospederos adecuados para su desarrollo (SENASICA, 2016). Por ello, es plausible que *T. drosophilae* tras su liberación, haya preferido parasitar pupas naturales de *D. suzukii* presentes en el campo en lugar de las pupas centinela de *D. melanogaster*, ya que diversos estudios han demostrado que este parasitoide muestra mayor afinidad o rendimiento reproductivo sobre *D. suzukii* que *D. melanogaster* (Castro-Sosa *et al.*, 2017; Boycheva *et al.*, 2019; Häussling *et al.*, 2021).

El uso exclusivo de *D. melanogaster* como hospedero centinela pudo haber subestimado la actividad parasitaria real del parasitoide. Por lo tanto, se recomienda que en futuros ensayos de dispersión se utilicen pupas de *D. suzukii* previamente tratadas térmicamente como trampas centinelas. Por ejemplo, se ha demostrado que las pupas sometidas a calor (40 °C durante 16 min) no son viables, pero mantienen una aptitud adecuada para la cría de *T. drosophilae*, esto representa un método eficiente y económicamente viable (Chen *et al.*, 2026). Esto permitirá eliminar el riesgo de que pupas no parasitadas completen su desarrollo hasta la fase adulta y contribuyan a la expansión de la plaga en el campo.

Los resultados de este estudio indican dos posibles aplicaciones prácticas para optimizar el uso de *T. drosophilae* contra *D. suzukii*. Primero, los datos muestran que la dispersión de *T. drosophilae* ocurre en todas las direcciones a partir de un punto central de liberación por hectárea en un máximo de seis días. De forma convencional, las recomendaciones técnicas sugeridas para realizar la liberación es un modelo de cinco puntos por hectárea (González-Cabrera & Contreras-Bermúdez, 2024). Sin embargo, los resultados de este estudio sugieren que una sola liberación desde un punto central, el parasitoide puede tener una distribución adecuada, lo que simplifica el proceso, reduce costos y tiempos de operación. Adicionalmente, la notable reducción del parasitismo a partir del sexto día después de la liberación indica que la supervivencia y efectividad del parasitoide es limitado en condiciones de campo. Por ello, se sugiere cambiar la recomendación técnica actual de liberación (4,500 parasitoides/ha/quincenal) por liberaciones

más frecuentes, por ejemplo, cada 7 días con el objetivo de mantener una presencia continua y activa del parasitoide.

Para evitar la disminución del parasitismo que se observó en el día 6, se sugiere considerar la implementación de refugios florales o fuentes accesibles de carbohidratos (néctar, miel o flores auxiliares) dentro y alrededor del cultivo lo que puede contribuir a preservar la población de parasitoides liberados como es sugerido en otros estudios (Hernández-Mahecha & Manzano, 2016). Aunque esta recomendación no fue evaluada en el presente estudio, se ha demostrado que la disponibilidad continua de recursos energéticos incrementa la longevidad y actividad de búsqueda de los parasitoides adultos, contribuyendo a sostener sus poblaciones en campo por periodos más prolongados (Fadamiro & Heimpel, 2001). La incorporación de estas fuentes alternativas de alimento puede contribuir a la permanencia y mayor eficacia de *T. drosophilae* después de su liberación, fortaleciendo el impacto del control biológico en este sistema productivo (Lee & Heimpel, 2008). Integrar estos ajustes en un programa de MIP podría incrementar la eficacia de *T. drosophilae* de parasitar > 50% de la población plaga. Un parasitismo de esta magnitud podría favorecer un control eficaz, contribuyendo así a disminuir la dependencia de insecticidas y el daño en frutillas causado por *D. suzukii*.

En conclusión, los resultados obtenidos aportan información importante para ajustar las recomendaciones técnicas de liberación en campo, tanto en la frecuencia como en la ubicación de los puntos de liberación. La variabilidad espacial y temporal de *T. drosophilae* aquí observada debe incorporarse al diseño de estrategias de manejo de *D. suzukii* en México, dentro de un enfoque de MIP.

LITERATURA CITADA

- Asplen, M. K., Anfora, G., Biondi, A., Choi, D.-S., Chu, D., Daane, K. M., Gibert, P., Gutierrez, A. P., Hoelmer, K. A., Hutchison, W. D., Isaacs, R., Jiang, Z.-L., Kárpáti, Z., Kimura, M. T., Pascual, M., Philips, C. R., Plantamp, C., Ponti, L., Véték, G., Vogt, H., Walton, V. M., Yu, Y., Zappalà, L. & Desneux, N. (2015) Invasion biology of spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*): a global perspective and future priorities. *Journal of Pest Science*, 88, 469–494.
<https://doi.org/10.1007/s10340-015-0681-z>
- Bell, J. R., Aralimarad, P., Lim, K.-S., Chapman, J. W. (2013) Predicting insect migration density and speed in the daytime convective boundary layer. *PLoS One* 81, e54202.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054202>
- Boycheva Woltering, S., Romeis, J., Collatz, J. (2019) Influence of the rearing host on biological parameters of *Trichopria drosophilae*, a potential biological control agent of *Drosophila suzukii*. *Insects*, 10 (6), 183.
<https://doi.org/10.3390/insects10060183>
- Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI) (2015) *Drosophila suzukii* (spotted wing drosophila) (Ioriatti, C. & Anfora, G., Eds.). Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International.
Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/109283> (Consultado: 14 de mayo de 2026).
- Castro-Sosa, R., Castillo-Peralta, M. R., Monterroso-Rivas, A. I., Gomez-Díaz, J. D., Flores-González, Erick, Rebollar-Alviter, A. (2017). Potential distribution of *Drosophila suzukii* in relation to alternate hosts in Mexico. *Florida Entomologist*, 100 (2), 268–278.

- <https://doi.org/10.1653/024.100.0403>
- Chen, Y. Z., Gong, X. M., Zhang, M., Meng, W. C., Liu, P. C., Hu, H. Y. (2026) Assessment of *Drosophila melanogaster* pupae killed by heat as hosts for rearing *Trichopria drosophilae*. *Journal of Pest Science*, 99, 7.
<https://doi.org/10.1007/s10340-025-01994-z>
- Fadamiro, H. Y., Heimpel, G. E. (2001) Effects of partial sugar deprivation on lifespan and carbohydrate mobilization in the parasitoid *Macrocentrus grandii* (Hymenoptera: Braconidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 94 (6), 909–916.
[https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2001\)094\[0909:EOPSDO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2001)094[0909:EOPSDO]2.0.CO;2)
- Farnsworth, D., Hamby, K. A., Bolda, M., Goodhue, R. E., Williams, J. C., Zalom, F. G. (2017). Economic analysis of revenue losses and control costs associated with the spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii* (Matsumura), in the California raspberry industry. *Pest Management Science*, 73 (6), 1083–1090.
<https://doi.org/10.1002/ps.4497>
- González-Cabrera, J., Moreno-Carrillo, G., Sanchez-González, J. A., Mendoza-Ceballos, M. Y., Arredondo-Bernal, H. C. (2019) Single and combined release of *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae) to control *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Neotropical Entomology*, 48 (6), 949–956.
<https://doi.org/10.1007/s13744-019-00707-3>
- González-Cabrera, J., Sánchez-González, J. A., Vázquez-de Jesús, F., Mendoza-Ceballos, M. Y., Muñiz-Paredes, F. R., Arredondo-Bernal, H. C. (2022) Inhibition of the spoilage yeast *Pichia occidentalis* in a wheat germ diet for mass rearing of *Drosophila suzukii*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 171 (1), 73–79.
<https://doi.org/10.1111/eea.13243>
- González-Cabrera, J., Contreras-Bermúdez, Y. (2024) *Trichopria drosophilae*, principal parasitoide de *Drosophila suzukii*. Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Dirección General de Sanidad Vegetal, SENASICA, México. Ficha Técnica CB-28, 6p.
- Häussling, B. J. M., Lienenlücke, J., Stökl, J. (2021) The preference of *Trichopria drosophilae* for pupae of *Drosophila suzukii* is independent of host size. *Scientific Reports*, 11, 995.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-80355-5>
- Haye, T., Girod, P., Cuthbertson, A. G. S., Wang, X. G., Daane, K. M., et al., (2016) Current SWD IPM tactics and their practical implementation in fruit crops across different regions around the world. *Journal of Pest Science* 89, 643–651.
<https://doi.org/10.1007/s10340-016-0737-8>
- Hernández Mahecha, L. M., Manzano, M. R. (2016) Efecto del viento en la dispersión a corta distancia del parasitoide *Amitus fuscipennis* MacGown y Nebeker (Hymenoptera: Platygasteridae) en cultivos de frijol y habichuela. *Acta Agronómica* 65, 80–86.
<http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n1.48816>
- Hogg, B. N., Lee, J. C., Rogers, M. A., Worth, L., Nieto, D. J., Stahl, J. M., Daane, K. M. (2022) Releases of the parasitoid *Pachycrepoideus vindemmiae* for augmentative biological control of spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. *Biological Control*, 168, 104865.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.104865>
- Hogg, B. N., Daane, K. M. (2024) Landscape effects on seasonal abundance of *Drosophila suzukii* and its parasitoids in California cane berry fields. *Agricultural and Forest Entomology*, 27 (2), 304–315.
<https://doi.org/10.1111/afe.12664>

- Hogg, B. N., Daane, K. M. (2025) Semi-natural habitat as a source of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) and its parasitoids in California cane berry fields. *Journal of Economic Entomology*, 118 (6), 2682–2691.
<https://doi.org/10.1093/jee/toaf267>
- Jamovi (2024) Jamovi Statistical Software (Version 2.6).
Disponible en: <https://www.jamovi.org> (consultado el 01 agosto del 2024)
- Lagunes-Fortiz, E. R., Lagunes-Fortiz, E., Gómez-Gómez, A. A., Leos-Rodríguez, J. A., Omaña-Silvestre, J. M. (2020) Competitividad y rentabilidad de la producción de frutillas en Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11 (8), 1815–1826.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2595>
- Lee, J. C., Heimpel, G. E. (2008) Floral resources impact longevity and oviposition rate of a parasitoid in the field. *Journal of Animal Ecology*, 77 (3), 565–572.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01355.x>
- Quicray, M., Wilhelm, L., Enriquez, T., He, S., Scheifler, M., Visser, B. (2023) The *Drosophila*-parasitizing wasp *Leptopilina heterotoma* avoids superparasitism and discriminates between hosts parasitized by conspecifics. *Ecology and Evolution*, 13 (1), e9625.
<https://doi.org/10.1002/ece3.9625>
- Rossi-Stacconi, M. V., Amiresmaeili, N., Biondi, A., Carli, C., Caruso, S., Dindo, M. L., Francati, S., Gottardello, A., Grassi, A., Lupi, D., Marchetti, E., Mazzetto, F., Mori, N., Pantezzi, T., Tavella, L., Tropea Garzia, G., Tonina, L., Vaccari, G., Anfora, G. & Ioriatti, C. (2018) Host location and dispersal ability of the cosmopolitan parasitoid *Trichopria drosophilae* released to control the invasive spotted wing *Drosophila*. *Biological Control*, 117, 188–196.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.11.013>
- Rossi-Stacconi, M. V., Grassi, A., Ioriatti, C., Anfora, G. (2019) Augmentative releases of *Trichopria drosophilae* for the suppression of early season *Drosophila suzukii* populations. *BioControl*, 64, 09–19.
<https://doi.org/10.1007/s10526-018-09914-0>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (2023) Berries, second product of the field with the highest export value: Agriculture. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 1 de septiembre de 2023.
Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/berries-second-product-of-the-field-with-the-highest-export-value-agriculture> (Consultado: 14 de mayo de 2026).
- Yi, C., Cai, P., Lin, J., Liu, X., Ao, G., Zhang, Q., Xia, H., Yang, J., Ji, Q. (2020) Life History and Host Preference of *Trichopria drosophilae* from Southern China, One of the Effective Pupal Parasitoids on the *Drosophila* Species. *Insects*, 11 (2), 103.
<https://doi.org/10.3390/insects11020103>
- Xia, S., Ma, N., Wang, P., Lu, Y. (2025) Effects of Temperature and Humidity on the Fitness of Aphid Parasitoid, *Binodoxys communis*. *Insects*, 16 (3), 264.
<https://doi.org/10.3390/insects16030264>