




Influencia de variables climáticas en la dinámica poblacional de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae) en huertas comerciales de naranja Valencia en Querétaro, México

Influence of climatic variables on the population dynamics of *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae) in commercial Valencia orange orchards in Querétaro, Mexico



Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)

*Autor corresponsal:

 Othón Javier González Gaona
othon.gg@cdvictoria.tecnm.mx

Cómo citar:







Obregón-Zúñiga J. A., González-Gaona O. J., Azuara-Domínguez A., Rangel-Lucio J. A., Flores-Gracia J., Peña-Herrejón G. A. (2025) Influencia de variables climáticas en la dinámica poblacional de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera:Liviidae) en huertas comerciales de naranja Valencia en Querétaro, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 41, 1–13.

10.21829/azm.2025.4112782
elocation-id: e4112782

Recibido: 21 junio 2025

Aceptado: 29 septiembre 2025

Publicado: 13 octubre 2025

JAVIER ALEJANDRO OBREGÓN-ZÚÑIGA^{1,2}, OTHÓN JAVIER GONZÁLEZ-GAONA^{2*}, AUSENCIO AZUARA-DOMÍNGUEZ², JOSÉ ANTONIO RANGEL-LUCIO², JUAN FLORES GRACIA², GUILLERMO ABRAHAM PEÑA-HERREJÓN¹

¹Facultad de Ciencias Naturales, Campus Concá, Universidad Autónoma de Querétaro. Valle Agrícola S/N Loc. Concá, CP. 76410. Concá, Arroyo Seco, Querétaro, México.

²Tecnológico Nacional de México, Campus Cd. Victoria, Boulevard Emilio Portes Gil, 1301, CP. 87010, Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

Editor responsable: Magdalena Cruz Rosales

RESUMEN. La producción de naranja Valencia es afectada por *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 en el Valle de Concá, Arroyo Seco, Querétaro, México. Con el fin de entender mejor esta problemática, se determinó y correlacionó la



abundancia temporal de *D. citri* con variables climáticas en el cultivo. El estudio se llevó a cabo entre el 2019 y 2022. Para el monitoreo de los adultos de *D. citri*, se utilizaron 20 trampas amarillas pegajosas por huerta, las cuales se sustituían y se registraba la cantidad de adultos cada 14 días, el conteo de los adultos de *D. citri* se realizaron en el laboratorio de Manejo y Conservación de Recursos Naturales CIDAD-UAQ. Se registraron las variables climáticas en cada huerta utilizando un Data Logger Hobbo. Las medias de adultos capturados fueron analizadas con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, posteriormente se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, complementando con un modelo lineal mixto generalizado. La autocorrelación espacial de la abundancia en las huertas se realizó por medio del índice de Morán. Para observar la relación entre la abundancia y factores climáticos se realizó la distribución de Kernel y un análisis de correlación cruzada. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software R, versión 4.3.1. Los resultados confirmaron la presencia de *D. citri* en el Valle de Conca durante los cuatro años del estudio. No hubo un patrón de fluctuación poblacional consistente cada año, la distribución de los insectos en las huertas es de manera aleatoria, observándose diferencias significativas entre éstas, la abundancia de *D. citri* es variable en escala de tiempo y se observó una correlación entre los factores climáticos sobre todo con la temperatura y la velocidad del viento. Se destaca la importancia de considerar factores microclimáticos del sitio para aplicar planes de manejo más efectivo de *D. citri*.

Palabras clave: distribución; fluctuación; monitoreo; población; tiempo

ABSTRACT. Valencia orange production is affected by *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 in the Conca Valley, Arroyo Seco, Querétaro, Mexico. To better understand this problem, the temporal abundance of *D. citri* was determined and correlated with climatic variables in the crop. The study was carried out between 2019 and 2022. To monitor *D. citri* adults, 20 yellow sticky traps were used per orchard, which were replaced, and the number of adults was recorded every 14 days. *D. citri* adult counts were carried out in the CIDAD-UAQ Natural Resources Management and Conservation laboratory. Climatic variables were recorded in each orchard using a Hobbo Data Logger. The means of captured adults were analyzed with the Shapiro-Wilk normality test, then the nonparametric Kruskal-Wallis test was applied, additionally a generalized linear mixed model was performed. The spatial autocorrelation of abundance in the orchards was carried out using the Morán index to observe the relationship between abundance and climatic factors the Kernel distribution and a cross-correlation analysis were performed. All statistical analyses were performed in R software, version 4.3.1. The results confirmed the presence of *D. citri* in the Conca Valley during the four years of the study. There was no consistent population fluctuation pattern each year, the distribution of insects in the orchards is random, with significant differences between them, the abundance of *D. citri* is variable in time scale and a correlation was observed between climatic factors, especially with temperature and wind speed. The importance of considering microclimatic factors of the site to apply more effective management plans for *D. citri* is highlighted.

Key words: distribution; fluctuation; monitoring; population; time

INTRODUCCIÓN

La citricultura es una de las actividades agrícolas más importantes en México, posicionando al país como el cuarto lugar en producción de cítricos a nivel mundial (Carreño-López *et al.*, 2024, Villar-Luna *et al.*, 2024). Sin embargo, esta industria enfrenta serias amenazas fitosanitarias, destacando la presencia de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae), vector del *Candidatus Liberibacter asiaticus*, agente causal del Huanglongbing (HLB), considerada la enfermedad más devastadora de los cítricos a nivel global (Garza-Saldaña *et al.*, 2017; García-Ávila *et al.*, 2021). En ese sentido el estado de Querétaro ocupa los últimos lugares en producción de cítricos, aportando apenas el 0.03% de la producción nacional, a pesar de esto las huertas comerciales están en riesgo por los problemas fitosanitarios, por lo que 213 hectáreas distribuidas en los municipios de la Sierra Gorda Queretana están afectadas por el HLB y su vector *D. citri* (Gobierno de México, 2019).

Diaphorina citri afecta principalmente a plantas de la familia Rutaceae, alimentándose de los brotes tiernos y hojas jóvenes, lo cual puede provocar enanismo, deformación de tejidos vegetativos y, en casos graves, la muerte del árbol (Yzquierdo-Álvarez *et al.*, 2021; Qiu *et al.*, 2022). En regiones productoras como Veracruz, se han registrado afectaciones en más de 549,000 hectáreas, lo que motivó la implementación de campañas fitosanitarias para reducir las poblaciones del insecto vector (Díaz-Padilla *et al.*, 2014).

Estudios previos han demostrado que la abundancia de *D. citri* varía a lo largo del año, influenciada por factores bióticos como la edad del árbol y la disponibilidad de brotes, así como por condiciones climáticas como la temperatura y la precipitación (Aidoo *et al.*, 2022). En general, se reportan picos poblacionales durante la primavera y verano, cuando las temperaturas oscilan entre 25°C y 29°C, favoreciendo su desarrollo (Liria *et al.*, 2016; Zorzenon *et al.*, 2020). Aunado a que el cambio climático afecta significativamente la distribución geográfica de las plagas y enfermedades de las plantas a nivel mundial (Wang *et al.*, 2020; Endarto *et al.*, 2024). No obstante, también se han observado variaciones regionales con picos en otras estaciones del año, lo que refleja una dinámica poblacional heterogénea y dependiente del contexto local (Luna-Cruz *et al.*, 2018; Hernández-Landa *et al.*, 2018; Ninsin *et al.*, 2024). Ante esta variabilidad, es fundamental realizar estudios a escala local que permitan comprender la relación entre las condiciones climáticas y la dinámica de *D. citri*, especialmente en cultivos comerciales. En la presente investigación se determinó y correlacionó la abundancia temporal de *D. citri* con variables climáticas en huertas comerciales de naranja Valencia, ubicadas en el valle de Concá, municipio de Arroyo Seco, Querétaro, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la localidad de Concá, municipio de Arroyo Seco, Querétaro, México, ubicada en las coordenadas 21°26'38" N y 99°38'11" O, a una altitud de 560 metros sobre el nivel del mar (Fig. 1). El ecosistema predominante es bosque tropical caducifolio, con un clima semi-seco, temperatura media anual de 22 °C y régimen de lluvias concentrado en verano. La principal actividad económica en la zona es la agricultura (Instituto Nacional de Ecología, 1999).

El estudio se llevó a cabo, entre 2019 y 2022, en cinco huertas comerciales de naranja Valencia (*Citrus sinensis*), (Cuadro 1). La selección de las huertas se realizó con base en criterios de accesibilidad, manejo fitosanitario homogéneo y representatividad regional.

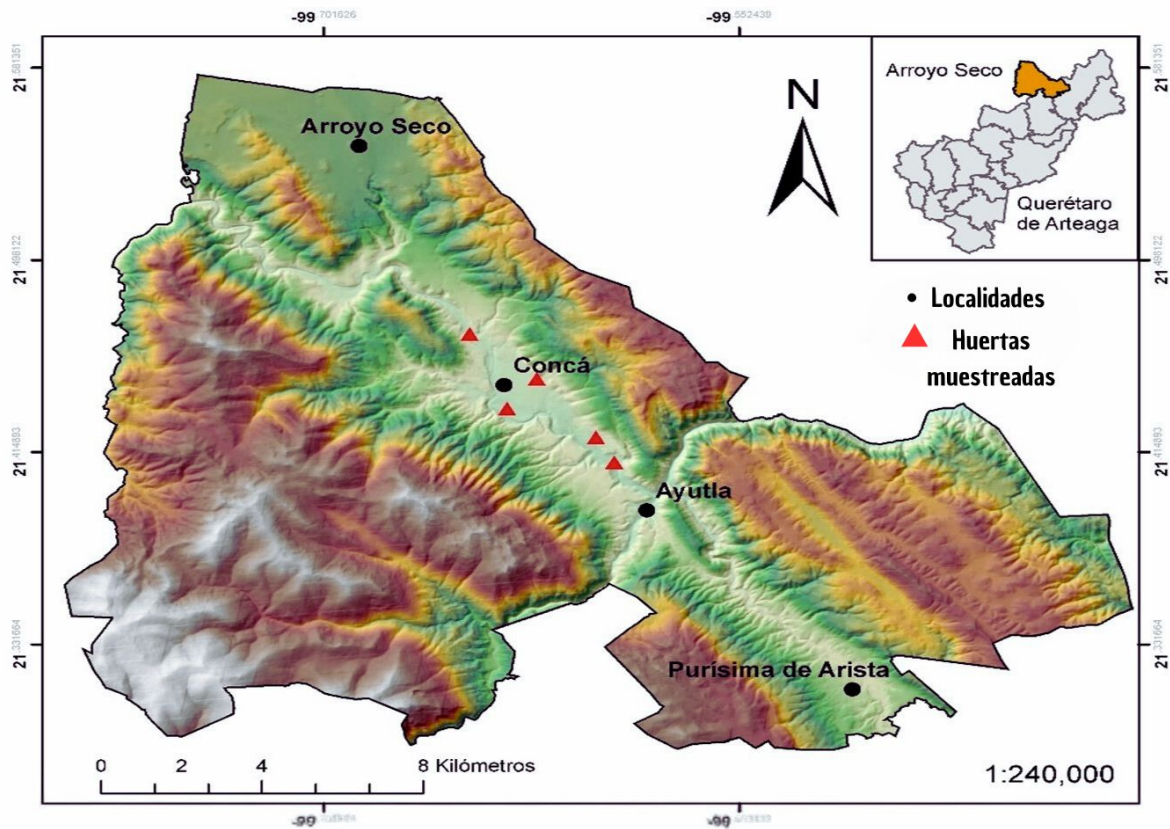


Figura 1. Localización de las huertas de cítricos en Conca, Arroyo Seco, Querétaro. Modificado de Velázquez-Barrera (2024).

Cuadro 1. Características de las huertas de cítricos en Conca, Arroyo Seco, Querétaro.

Huerta	Latitud	Longitud	Altitud	Variedad	Manejo	Sistema de cultivo
Coyote	21.411263	99.595077	580	Valencia	Convencional	Combinado con maíz de temporal
Rancho el Coyote	21.422657	99.602099	585	Valencia	Convencional	Monocultivo
Conca	21.434289	99.637108	560	Valencia	Agroecológica	Combinado con Mango
La Cruz	21.45085	99.62893	570	Valencia	Convencional	Monocultivo
Las Pilas	21.464679	99.646031	550	Valencia	Agroecológica	Policultivo

El monitoreo de adultos de *D. citri* se efectuó mediante el uso de trampas amarillas adhesivas cuadradas de doble cara, con dimensiones de 12 × 20 cm. De acuerdo con el protocolo establecido por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, (SENASICA, 2020), se colocaron 20 trampas por huerta, ubicadas en el borde de la parcela, a una altura aproximada de dos metros y orientadas hacia el suroeste, con una separación de diez metros entre trampas.

Las trampas fueron recolectadas cada 14 días. En cada visita, las trampas se almacenaron en grupos de 20 por huerta dentro de hieleras y se trasladaron al Laboratorio de Manejo y Conservación de Recursos Naturales del CIDAF-UAQ, donde se contabilizó el número de individuos adultos.

Para el registro de variables climáticas, se instalaron sensores de datos tipo *data logger*. Los dispositivos fueron programados para registrar temperatura y humedad de forma continua.

La media mensual de adultos capturados por trampa en cada huerta y en cada año fue analizada con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, debido a que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($p \leq 0.05$) para comparar las diferencias en las medias de captura por trampa, entre las huertas y los meses dentro de cada año, además se realizó un modelo lineal mixto generalizado para observar el efecto de los meses de muestreo sobre la abundancia. Para observar la autocorrelación espacial de la abundancia de *D. citri* en las huertas se realizó el índice de Morán. Adicionalmente, por medio de la distribución de Kernel, se examinó la relación entre factores climáticos como la temperatura y la humedad relativa, con la abundancia de adultos de *D. citri* capturados en trampas. Se realizó un análisis de correlación cruzada entre la abundancia y los factores climáticos para detectar desfases temporales en la escala de tiempo. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software R, versión 4.3.1 (R Core Team, 2023).

RESULTADOS

Durante el periodo de estudio, fue registrado el número de adultos de *D. citri* en las huertas monitoreadas. No se identificó un patrón consistente de fluctuación poblacional entre los distintos años del muestreo.

Para evaluar la presencia de patrones de agrupamiento espacial en la abundancia, se calculó el índice I de Moran, el resultado indica que no existe una autocorrelación espacial significativa ($I = 0.253$, $p > 0.05$), lo que sugiere que los valores se distribuyen de manera aleatoria en las huertas muestreadas. En ese sentido se observaron diferencias significativas entre las huertas muestreadas ($p < 0.05$); las huertas con mayor media de captura por trampa durante todo el periodo de muestreo fueron Rancho el Coyote, seguidas de la huerta la Cruz y el Coyote con 23.4, 13.0 y 12.4 ejemplares de *D. citri* por trampa, finalmente las huertas con menor media de captura fueron las Pilas con 2.0 *D. citri* y la huerta Concá con 1.1 insectos capturados (Fig. 2).

De acuerdo el modelo lineal mixto generalizado se observó un efecto significativo de los meses sobre la abundancia de *D. citri* ($x^2 = 43.75$ $p < 0.05$) lo que indica que la abundancia de *D. citri* es muy variable a lo largo de los meses del periodo de muestreo. En ese sentido en 2019, se registraron diferencias estadísticas significativas en la abundancia mensual de *D. citri* ($p < 0.05$). En ese año, los picos poblacionales más altos se observaron en los meses de julio y septiembre, con medias mensuales de captura de 8.06 y 9.02 individuos por trampa, respectivamente. Por su parte, en 2020, el análisis reveló diferencias significativas entre los meses de muestreo ($p < 0.05$), en este caso, el mayor número de capturas se registró en marzo, con una media mensual de 26.21 individuos por trampa. Así mismo, en 2021 se observaron diferencias estadísticamente significativas en la abundancia mensual de *D. citri* ($p < 0.05$). Durante este año, el pico poblacional se presentó en el mes de mayo, con una media mensual de 29.87 individuos por trampa. Finalmente, en 2022 se detectaron nuevamente diferencias significativas entre los meses muestreados ($p < 0.05$). En particular, el valor más alto de captura se registró en abril, con una

media mensual de 83.8 individuos por trampa, siendo este el pico poblacional más elevado de todo el periodo de estudio (Fig. 2). Por el contrario, durante los cuatro años del estudio se observó un notable descenso en las densidades de *D. citri* capturadas entre los meses de septiembre y diciembre. Este patrón sugiere que las condiciones climáticas más frías podrían ser un factor determinante en la disminución de las poblaciones de este insecto.

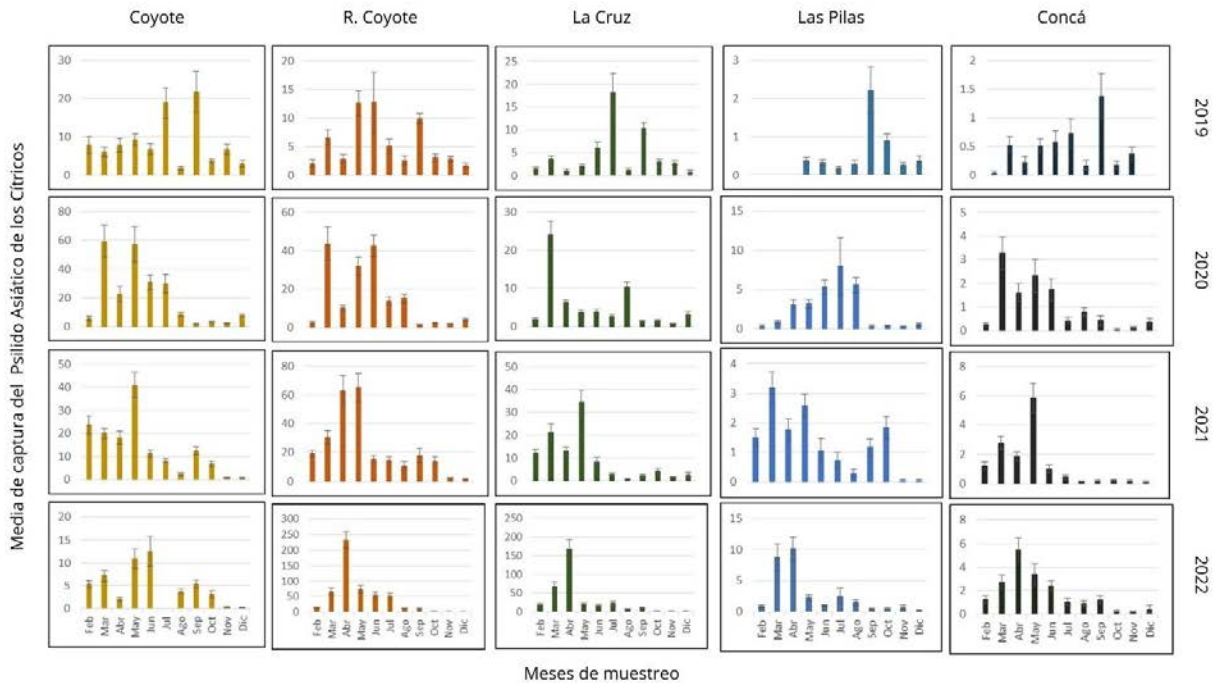


Figura 2. Fluctuación de adultos capturados en trampas durante el periodo de muestreo en Concá, Arroyo Seco. El eje horizontal inferior muestra los meses de muestreo, el eje vertical de la derecha muestra la abundancia del *D. citri*, mientras que el eje vertical de la izquierda muestra los cuatro años del muestreo, cada columna hace referencia a las huertas muestreadas. Las líneas dentro de las barras indican el error estándar ($p < 0,05$).

El análisis de correlación cruzada entre los factores climáticos y la abundancia de *D. citri* evidenciaron la presencia de un patrón oscilante con alternancia de correlaciones positivas y negativas a lo largo de los rezagos. Por ejemplo, la temperatura promedio, en el rezago cero ($\text{lag} = 0$) se observó una correlación positiva y significativa, lo que indica que las variaciones en la temperatura y la abundancia de insectos tienden a ocurrir de manera simultánea. Asimismo, se detectaron picos de correlación significativa en rezagos positivos, lo que sugiere que los cambios en la temperatura anteceden parcialmente a los cambios en la abundancia. Este hallazgo es consistente con la hipótesis de que, la temperatura actúa como un factor ambiental clave que modula la dinámica poblacional de los insectos, influyendo en procesos fisiológicos y reproductivos que se manifiestan con un cierto desfase temporal (Fig. 3A). Por otra parte, la alternancia de correlaciones negativas en algunos rezagos refleja la existencia de un componente cíclico o estacional en la relación entre ambas variables. Este patrón sugiere que la abundancia de insectos no solo responde a incrementos inmediatos de la temperatura, sino que también está condicionada por los ciclos biológicos de la especie y por la variabilidad climática estacional. En

conjunto, estos resultados respaldan la conclusión de que la temperatura es un determinante fundamental en la fluctuación de la abundancia de insectos, actuando tanto de forma directa como a través de rezagos temporales asociados a sus ciclos poblacionales.

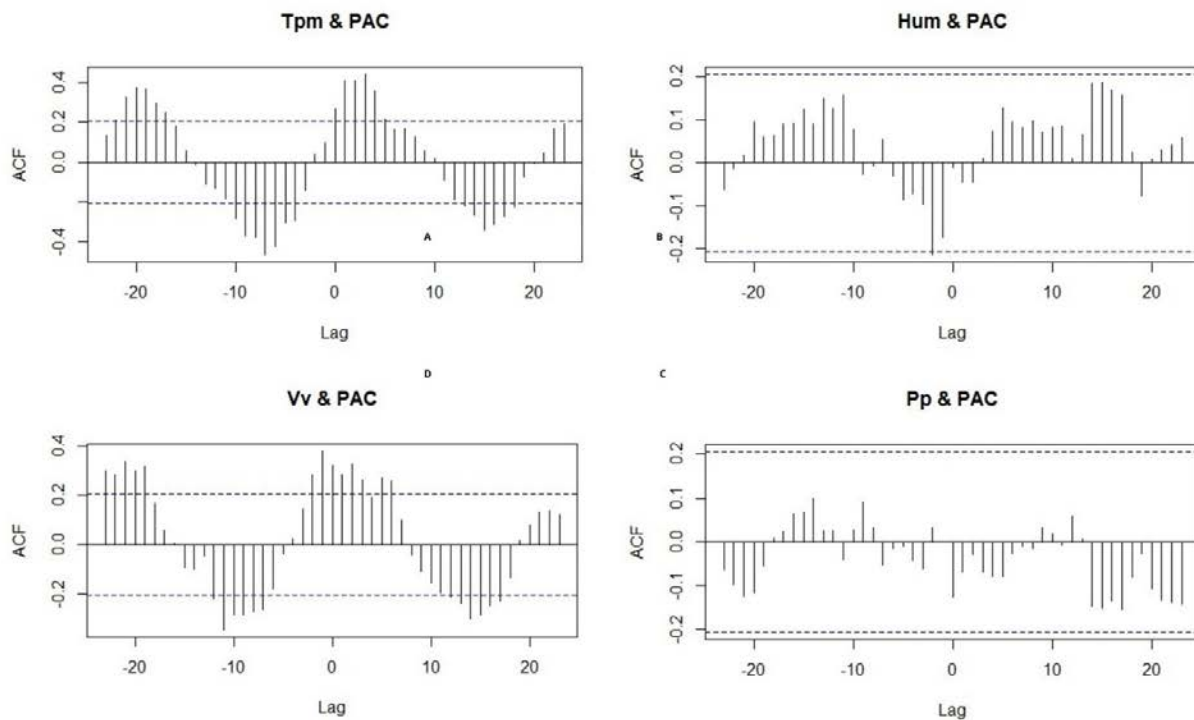


Figura 3. Correlación cruzada entre la abundancia y factores climáticos: Tpm=Temperatura promedio, Hm= Humedad, Pp= Precipitación, Vv= Velocidad del viento y PAC = *D. citri*.

El análisis de correlación cruzada entre la velocidad del viento (Vv) y la abundancia de *D. citri* reveló patrones significativos a lo largo de varios desfases temporales (lags). Se observaron correlaciones positivas significativas en lags negativos, particularmente entre los desfases -20 y -10, lo que sugiere que, incrementos en la velocidad del viento preceden a aumentos en la abundancia. Esta relación se podría indicar un efecto de arrastre o dispersión de los individuos adultos facilitados por las corrientes de aire que se puedan generar. Sin embargo, también se identificaron correlaciones negativas significativas en lags positivos, lo cual sugiere que aumentos en la velocidad del viento están asociados con una disminución posterior en la abundancia de *D. citri*. Esta tendencia puede interpretarse como un posible efecto adverso del viento sostenido sobre el establecimiento, reproducción o supervivencia de los insectos (Fig. 3D).

En conjunto, estos resultados indican que la velocidad del viento ejerce una influencia compleja y dependiente del tiempo sobre la dinámica poblacional de *D. citri*, con posibles efectos tanto de facilitación como de inhibición según el momento del ciclo fenológico en que ocurre la perturbación.

Por su parte la precipitación (Pp), la humedad (Hum) y la abundancia de *D. citri* no revela correlaciones significativas en ninguno de los lags considerados (Fig. 3 B y C). A lo largo del rango de desfases temporales analizados, aunque existen algunas fluctuaciones menores en los lags,

ninguna de ellas es estadísticamente significativa, lo que sugiere que, en general, las variaciones en la precipitación y la humedad no parecen influir de manera directa o inmediata en la dinámica poblacional de los adultos en el periodo estudiado, la humedad relativa parece tener un efecto complejo en la abundancia de adultos, con impactos negativos en el corto plazo y positivos en el mediano plazo, lo que podría ser relevante para entender las fluctuaciones poblacionales de esta plaga bajo diferentes condiciones microclimáticas.

Complementando lo anterior, el análisis de correlación de Spearman mostró asociaciones positivas débiles, pero estadísticamente significativas, entre la abundancia de adultos y la temperatura mínima ($\rho = 0.092$, $p < 0.001$) y la temperatura promedio ($\rho = 0.060$, $p < 0.001$). De igual forma, la humedad relativa ($\rho = 0.059$, $p = 0.005$) y la precipitación ($\rho = 0.090$, $p < 0.001$) presentaron correlaciones positivas con la abundancia de *D. citri*, lo que indica que condiciones más húmedas y con mayor pluviosidad favorecen su incremento poblacional. Finalmente, la velocidad del viento mostró una correlación positiva y significativa ($\rho = 0.047$, $p = 0.025$), constituyendo la asociación más fuerte entre las variables climáticas evaluadas. Los picos poblacionales se concentraron dentro de un rango térmico de 25–30 °C.

En contraste, no se encontró una relación significativa con la temperatura máxima ($\rho = 0.007$, $p = 0.750$), esto posiblemente a las temperaturas extremas que se pueden registrar en la zona de hasta 40°C, lo cual está fuera de los valores óptimos para el desarrollo de *D. citri*. Estos resultados sugieren que, aunque los factores climáticos influyen en la abundancia, su efecto individual es limitado y probablemente actúan de manera conjunta o con cierto desfase temporal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Correlación de Spearman entre la abundancia y las variables climáticas. Tmx= Temperatura máxima, Tmn= Temperatura mínima, Tpm=Temperatura promedio, Hm= Humedad, Pp= Precipitación y Vv= Velocidad del viento. * Valor de $p < 0.05$.

	Tmx	Tmn	Tpm	Hm	Pp	Vv
Coefficiente de correlación de Spearman (ρ)	0.007	0.09	0.06	0.05	0.09	0.04
Valor de p	0.75	0.001*	< 0.005*	< 0.005*	0.0012*	< 0.02*

Tmx= Temperatura máxima, Tmn= Temperatura mínima, Tpm=Temperatura promedio, Hm= Humedad, Pp= Precipitación y Vv= Velocidad del viento. * Valor de $p < 0.05$

La temperatura promedio y la humedad relativa son factores de suma importancia para el desarrollo de los insectos, por lo que, por medio del análisis de densidad de Kernel se determinó que la mayor densidad de *D. citri* se relaciona con temperaturas promedio (Tpm) entre los 22 y 24°C, combinadas con porcentajes de humedad relativa entre los 68 y 70 % (Hum). De hecho, los picos poblacionales más altos se registraron dentro de un rango de temperatura entre 22 y 26°C. Por ejemplo, en 2021, el pico de abundancia observado en mayo coincidió con una temperatura media de 25°C. Por otro lado, la humedad relativa (Hm) presentó 70% lo que indica que esos rangos de temperatura y humedad están asociados con densidades altas en las poblaciones de *D. citri* capturadas en las trampas (Fig. 4).

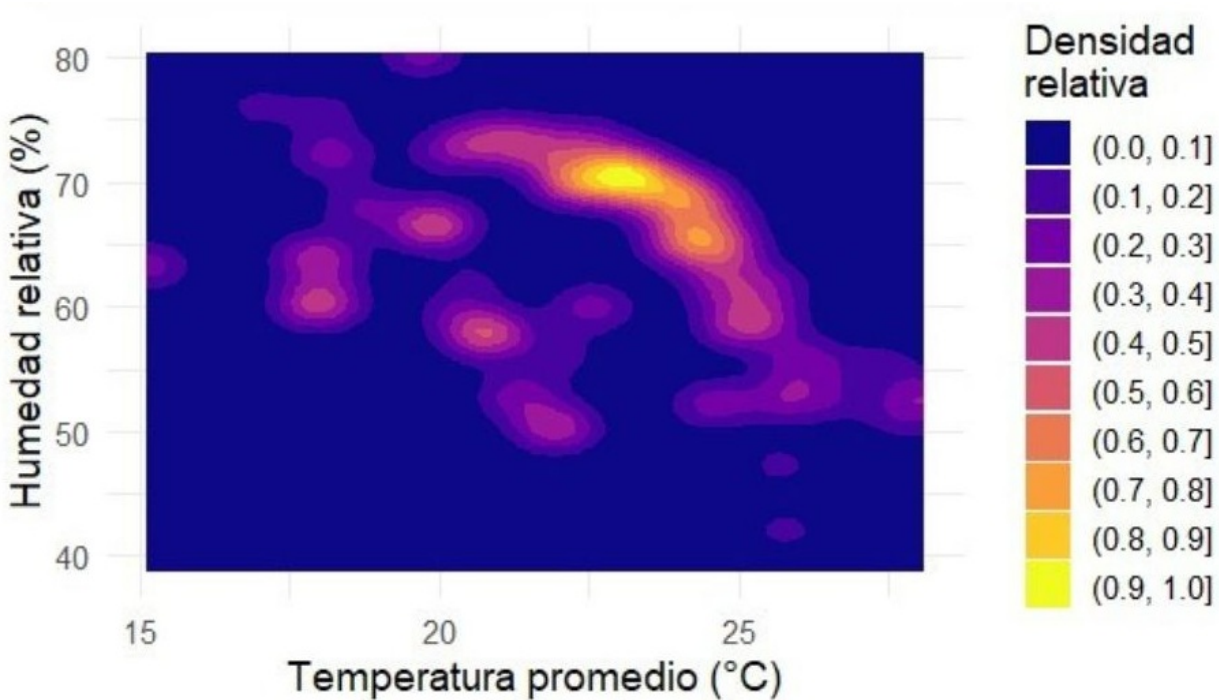


Figura 4. Densidad de Kernel, entre la humedad relativa y la temperatura con la abundancia del *D. citri* durante 2019–2022.

DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio demuestran que *D. citri* estuvo presente de manera constante durante todo el año en las huertas comerciales de naranja Valencia en Concá, Querétaro, lo que indica una alta capacidad de adaptación del insecto a las condiciones ambientales locales. Esta presencia continua representa un desafío importante para los sistemas de manejo fitosanitario, ya que requiere estrategias sostenidas en el tiempo.

Uno de los hallazgos más relevantes fue la variabilidad interanual en los picos poblacionales del insecto. Mientras que en 2019 los máximos se presentaron en julio y septiembre, en los años posteriores los picos se desplazaron a marzo (2020), mayo (2021) y abril (2022). Este desplazamiento sugiere una respuesta dinámica del insecto a las condiciones climáticas y fenológicas de cada año, lo cual coincide con estudios previos que destacan la naturaleza local y variable de su dinámica poblacional (Luna-Cruz *et al.*, 2018).

El análisis estadístico reveló diferencias significativas en la abundancia mensual en todos los años del estudio, lo cual confirma que las fluctuaciones poblacionales no son aleatorias y están influenciadas por factores ambientales específicos. La correlación positiva y significativa entre las temperaturas (mínima y promedio) y la abundancia de *D. citri* respalda la hipótesis de que los insectos tienen un rango óptimo que favorece su desarrollo y reproducción. De hecho, se observó que los picos poblacionales se concentraron en un rango térmico entre 25 y 30°C, consistente con los valores óptimos para el ciclo biológico del insecto reportados por Luna-Cruz *et al.* (2018), Tomaseto *et al.*, (2018) Aidoo *et al.*, (2022), Rodríguez-Aguilar *et al.*, (2023) y Van Steenderen *et al.*, (2024).

Así mismo, la baja correlación con la humedad relativa indica que niveles elevados de humedad podrían limitar el desarrollo de los adultos de *D. citri*, posiblemente al afectar la

viabilidad de sus fases inmaduras o alterar la calidad de los brotes tiernos. La relación entre la abundancia y la precipitación podría explicarse por la irregularidad de las lluvias o su efecto indirecto, más asociado al brote que al insecto en sí. Por sus altas temperaturas (>40 °C) reducen la capacidad de vuelo y dispersión de *D. citri* (Antolínez *et al.*, 2021), mientras que temperaturas óptimas (alrededor de 26 °C) favorecen vuelos largos.

Particularmente interesante fue el hallazgo de una fuerte correlación positiva entre la velocidad del viento y la abundancia de *D. citri*. Este resultado sugiere que el viento podría facilitar la dispersión activa o pasiva de los adultos entre huertas, un aspecto que ha sido poco explorado en la literatura, pero que merece atención futura por su potencial en la propagación de poblaciones resistentes o infectadas con HLB.

En cuanto a la estacionalidad, los meses de octubre a diciembre presentaron consistentemente una reducción en las densidades del insecto, patrón también reportado por Aguilar-Carpio *et al.* (2017), Yzquierdo-Álvarez *et al.* (2021) y Álvarez-Ramos *et al.* (2022). Esta disminución puede atribuirse a la combinación de temperaturas más bajas, menor fotoperiodo y una reducción en la disponibilidad de brotes jóvenes, condiciones menos favorables para el desarrollo y reproducción del insecto.

La comparación con otros estudios refuerza la idea de que, si bien las condiciones climáticas tropicales y subtropicales son óptimas para el establecimiento de *D. citri* (García *et al.*, 2016), factores como el manejo agronómico, la variedad hospedera y la edad de los árboles juegan un papel fundamental en la dinámica poblacional (Aguilar-Carpio *et al.*, 2017); pero aún más importante será la fenología del cultivo, al ser el sitio donde se ovipositan los huevecillos y las ninfas pasan sus primeros instares. Incluso con la implementación de estrategias de control como el uso de *Tamarixia radiata*, hongos entomopatógenos y control químico, como las aplicadas por el CESAVEQ, se ha reportado un incremento en la densidad del insecto entre 2019 y 2022 (Obregón-Zúñiga *et al.*, 2023), lo que pone en evidencia las limitaciones de las medidas actuales cuando no se acompañan de un monitoreo climático y fenológico constante.

Finalmente, aunque la disponibilidad de brotes ha sido considerada un factor clave en la proliferación del insecto, Hernández-Landa *et al.* (2018) demostraron que su efecto depende de la fase del ciclo biológico de *D. citri*, afectando más directamente a los huevos y ninfas. Por tanto, un manejo integrado exitoso debe considerar no solo el momento de mayor abundancia de adultos, sino también las condiciones que favorecen la oviposición y el desarrollo temprano del insecto.

En conjunto, los resultados de este estudio aportan evidencia sólida sobre la relación entre variables climáticas y la dinámica poblacional de *D. citri* en un sistema citrícola semi-seco, y destacan la necesidad de adaptar las estrategias de manejo a las condiciones ambientales locales para mejorar su eficacia.

CONCLUSIONES

Diaphorina citri estuvo presente durante todo el año, con picos poblacionales asociados a temperaturas entre 25 y 30 °C. La temperatura y la velocidad del viento se correlacionaron positivamente con su abundancia, mientras que la humedad tuvo un efecto negativo. Estos resultados destacan la importancia de considerar factores microclimáticos del sitio para emplear planes de manejo más efectivos de *D. citri*.

AGRADECIMIENTOS. Al Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Querétaro (CESAVEQ) por el apoyo en la realización de la presente investigación, a la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada al autor para realizar el Doctorado en Ciencias en Biología en el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Tamaulipas y a la Universidad Autónoma de Querétaro por las facilidades otorgadas para la realización de los estudios de doctorado.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Carpio, C., Flores-Ramírez, J. C., Alcántara-Jiménez, J. Á., Catalán-Batán, G., Ayvar-Serna, S. (2017) Fluctuación poblacional del psílido *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) en limón mexicano en Acapulco, Guerrero. *Acta agrícola y Pecuaria*, 3(2), 58–60.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6201369> (consultado 28 noviembre 2024).
<https://doi.org/10.30973/aap/2017.3.2/5>
- Aidoo, O., Souza, P., Da Silva, R., Júnior, S., Picanço, M., Kyrematen, R., Sétamou, M., Ekesi, S., Borgemeister, C. (2022) Climate-induced Range Shifts of Invasive Species (*Diaphorina citri* Kuwayama). *Pest management science*, 78(6), 2534–2549.
<https://doi.org/10.1002/ps.6886>
- Álvarez-Ramos, R., Azuara-Domínguez, A., Rodríguez-Castro, J. H., Zavala-Zapata, V., Sánchez-Borja, M., Vargas-Tovar, J. A. (2022) Abundancia estacional de *Diaphorina citri* asociada a la fenología del cultivo de cítricos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(1), 89–101.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2494>
- Antolínez, C., Moyneur, T., Martini, X., Rivera, M. (2021) High Temperatures Decrease the Flight Capacity of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). *Insects*, 12.
<https://doi.org/10.3390/insects12050394>
- Carreño-López, M.V., Almanza-Sánchez, M., Arvizu-Barón, E., Franco-Valderrama, A. (2024) Socioeconomic impacts on Valencia orange (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck) farming in Martínez de la Torre, Veracruz, Mexico. *Agro Productividad*, 17(7), 115–122.
<https://doi.org/10.32854/agrop.v17i7.2761>
- Díaz-Padilla, G., López-Arroyo, J. I., Sánchez-Cohen, I., Guajardo-Panes, R. A., Mora-Aguilera, G., Quijano-Carranza, J. Á. (2014) Áreas de abundancia potencial en México del vector del huanglongbing, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(7), 1137–1153.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v5i7.836>
- Endarto, O., Wicaksono, R., Wuryantini, S., Tarno, H., Nurindah (2024) Climate change mitigation and seasonal infestation patterns of citrus psyllid *Diaphorina citri*: implications for managing huanglongbing (HLB) disease in tangerine citrus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1346.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1346/1/012003>
- García-Ávila, C., Trujillo-Arriaga, F., Quezada-Salinas, A., Ruiz-Galván, I., Bravo-Pérez, D., Pineda-Ríos, J., Florencio-Anastasio, J., Robles-García, P. (2021) Holistic Area-Wide Approach for Successfully Managing Citrus Greening (Huanglongbing) in Mexico, Pp. 33–49. In: Hendrichs, J, Marc, R.P. & Vreysen, J.B. (Eds.) *Area-wide Integrated Pest*. CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781003169239-4>

- García, Y., Ramos, Y.P., Sotelo, P. A., Kondo, T. (2016) Biología de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) bajo condiciones de invernadero en Palmira, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 42(1), 36–42.
<https://doi.org/10.25100/socolen.v42i1.6667>
- Garza-Saldaña, J. J., Varela-Fuentes, S., Gómez-Flores, W. (2017). Métodos para la detección presuntiva de Huanglongbing (HLB) en cítricos. *CienciaUAT*, 11(2), 93–104.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582017000100093
<http://doi.org/10.29059/cienciauat.v11i2.783>
- Gobierno de México. (2019). Programa de trabajo específico de la campaña contra plagas reglamentadas de los cítricos a operar con recurso del programa de sanidad e inocuidad agroalimentaria 2019, componente de campañas fitozoosanitarias en el estado de Querétaro. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/561895/>
- Hernández-Landa, L., Lopez-Collado J., González-Hernández H., Vargas-Mendoza M., Osorio-Acosta F. Nava-Tablada M. E., (2018), Fluctuation and synchronization of adults catches of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) in urban backyards and commercial citrus plantations. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(3), 745–753.
<https://doi.org/10.1016/j.aspen.2018.05.005>
- Instituto Nacional de Ecología. (1999). Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda.
https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/sierra_gorda.pdf
- Liria, D. J. H., Bastardo, R. H., Valentín, M. R. (2016) Aspectos ecológicos de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908, en el cultivo de cítricos en Villa Altagracia y El Seibo, República Dominicana. *Novitates Caribaea*, 10, 52–62.
<https://doi.org/10.33800/nc.v0i10.29>
- Luna-Cruz, A., Escamilla-García, J. L., Barrera-Pardo, S. I., Loera-Alvarado, E. (2018) Fluctuación poblacional de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) en el valle de Apatzingán, Michoacán. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, 34, 1–4.
<https://doi.org/10.21829/azm.2018.3412144>
- Ninsin, K., Souza, P., Amaro, G., Aidoo, O., Barry, E., Da Silva, R., Osei-Owusu, J., Dofuor, A., Ablormeti, F., Heve, W., Edusei, G., Agboyi, L., Beseh, P., Boafo, H., Borgemeister, C., & Sétamou, M. (2024) Risk of spread of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) in Ghana. *Bulletin of entomological research*, 114(3), 327–346.
<https://doi.org/10.1017/S0007485324000105>
- Obregón-Zuñiga J. A., Azuara-Dominguez A. Castillo-Vega J. B. y Peña-Herrejón G. A. (2023) Evaluation of the monitoring of the asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama in the orange zone of Querétaro, In: I. Martínez, Y. Osorio, F. Martínez and K. Aguilar (Eds.) Sustainability in agricultural production and natural resource management T-I Biotechnology and Agricultural Sciences. Handbooks-©ECORFAN-México, Hidalgo.
<http://doi.org/10.35429/H.2023.14.1.34.48>
- Qiu, R., Chen, S., Chi, M., Wang, R., Huang, T., Fan, G., Zhao, J., Weng, Q. (2022) An automatic identification system for citrus greening disease (Huanglongbing) using a YOLO convolutional neural network. *Frontiers in Plant Science*, 13.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1002606>
- R Core Team (2023) *R (Version 4.3.1): A language and environment for statistical computing* [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

- <https://www.R-project.org/>
- Rodríguez-Aguilar, O., López-Collado, J., Soto-Estrada, A., Vargas-Mendoza, M., García-Ávila, C. (2023) Future spatial distribution of *Diaphorina citri* in Mexico under climate change models. *Ecological Complexity*.
<https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2023.101041>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (2020) *Manual operativo de la campaña contra plagas de los cítricos*. Gobierno de México.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/614759/Manual_operativo_Plagas_de_los_Citricos.pdf (13 de enero del 2025)
- Tomaseto, A., Miranda, M., Moral, R., Lara, I., Fereres, A., Lopes, J. (2018) Environmental conditions for *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) take-off. *Journal of Applied Entomology*, 142, 104–113.
<https://doi.org/10.1111/jen.12418>
- Van Steenderen, C., Mauda, E., Kirkman, W., Faulkner, K., Guy, S. (2024) The Asian Citrus Psyllid (*Diaphorina citri*) in Africa: using MaxEnt to predict current and future climatic suitability, with a focus on potential invasion routes. *African Entomology*. 32.
<https://doi.org/10.17159/2254-8854/2024/a18476>
- Velázquez-Barrera, B. (2024) Actividad de vuelo de *Diaphorina citri* Kuwayama (1908) en huertas de naranja Valencia en Concá, Arroyo Seco, Querétaro [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional de la UAQ.
- Villar-Luna, H., Santos-Cervantes, M. E., Rodríguez-Negrete, E. A., Méndez-Lozano, J., Leyva-López, N. E. (2024) Economic and Social Impact of Huanglongbing on the Mexico Citrus Industry: A Review and Future Perspectives. *Horticulturae*, 10(5), 481.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae10050481>
- Wang, R., Yang, H., Wang, M., Zhang, Z., Huang, T., Wen, G., Li, Q. (2020) Predictions of potential geographical distribution of *Diaphorina citri* (Kuwayama) in China under climate change scenarios. *Scientific Reports*, 10.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-66274-5>
- Yzquierdo-Alvarez, M. E., Rincón-Ramírez, J. A., Loeza-Kuk, E., López-Olguín, J. F., Aceves-Navarro, L. A., Ortiz-García, C. F. (2021) Fluctuación espacio-temporal de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) en limón Persa (*Citrus latifolia*) en la zona cítrica de Huimanguillo, Tabasco. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, 37.
<https://doi.org/10.21829/azm.2021.3712374>
- Zorzenon, F., Tomaseto, A., Daugherty, M., Lopes, J., Miranda, M. (2020) Factors associated with *Diaphorina citri* immigration into commercial citrus orchards in São Paulo State, Brazil. *Journal of Applied Entomology*, 145, 326–335.
<https://doi.org/10.1111/jen.12851>