



# Interacción espaciotemporal entre *Xanthomonas citri* pv. *citri* y *Phyllocnistis citrella* en árboles de *Citrus aurantifolia* de Tamaulipas, México

Spatiotemporal interaction between *Xanthomonas citri* pv. *citri* and *Phyllocnistis citrella* in *Citrus aurantifolia* trees in Tamaulipas, Mexico

Ausencio Azuara-Domínguez<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1180-1538> | [azuarad@gmail.com](mailto:azuarad@gmail.com)

Ricardo Álvarez-Ramos<sup>2</sup> <https://orcid.org/0009-0009-0834-7985> | [rialra@yahoo.com](mailto:rialra@yahoo.com)

Jesús Armando Vargas-Tovar<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0009-0000-2343-714X>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

<sup>2</sup>Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Tamaulipas, Güémez, Tamaulipas, México.

\*Autor de correspondencia: [armandoobiol@gmail.com](mailto:armandoobiol@gmail.com)

Recibido: 05 de mayo de 2025

Aceptado: 23 de julio de 2025

Publicado: 21 de agosto de 2025

## Resumen

**Objetivo.** Comparar y asociar la interacción espaciotemporal entre *Xanthomonas citri* pv. *citri* y *Phyllocnistis citrella* en árboles de *Citrus aurantifolia* en los municipios de San Fernando, Matamoros y Reynosa, del estado de Tamaulipas, México. **Materiales y métodos.** De noviembre de 2020 a diciembre de 2024 se tomaron muestras vegetales de árboles de *C. aurantifolia* ubicados en la vía pública, traspatios y viveros comerciales de los municipios de San Fernando, Matamoros y Reynosa. Los árboles positivos y negativos a *X. citri* pv. *citri* fueron dictaminados mediante la prueba de reacción en cadena de la polimerasa (PCR), siguiendo las recomendaciones del protocolo de diagnóstico fitosanitario del SENASICA. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y un PERMANOVA de

## Abstract

**Objective.** To compare and associate the spatiotemporal interaction between *Xanthomonas citri* pv. *citri* and *Phyllocnistis citrella* in *Citrus aurantifolia* trees in the municipalities of San Fernando, Matamoros, and Reynosa, in the state of Tamaulipas, Mexico. **Materials and methods.** From November 2020 to December 2024, plant samples were taken from *C. aurantifolia* trees located on public roads, backyards, and commercial nurseries in the municipalities of San Fernando, Matamoros, and Reynosa. Trees are positive and negative for *X. citri* pv. *citri* was determined using the polymerase chain reaction (PCR) test, following the recommendations of the SENASICA phytosanitary diagnostic protocol. The data was subjected to analysis of variance and a one-way PERMANOVA to

una vía para determinar diferencias entre municipios; la asociación se realizó con el análisis de correspondencia. **Resultados.** Los resultados mostraron que el número de árboles positivos a *X. citri* pv. *citri* fue diferente en San Fernando, en tanto que, el número de árboles negativos fue similar entre municipios. Además, el número de árboles positivos a *X. citri* pv. *citri* donde se contempló la presencia de *P. citrella* fue más frecuente en Reynosa; mientras que el número de árboles negativos fue más común en Matamoros; San Fernando no registró árboles positivos donde *P. citrella* estuviera presente. **Conclusión.** En el municipio de Matamoros y Reynosa se encuentra el mayor número de árboles positivos a *X. citri* pv. *citri*, siendo el municipio de Reynosa el que mantiene una fuerte asociación entre *X. citri* pv. *citri* y *P. citrella*.

### Palabras clave

Bacteria, cancro, cítricos, distribución, minador.

determine differences between municipalities; the association was made using correspondence analysis. **Results.** The results showed that the number of trees was positive for *X. citri* pv. *citri* was different in San Fernando, while the number of negative trees was similar between municipalities. In addition, the number of trees testing positive for *X. citri* pv. *citri* where the presence of *P. citrella* was observed was more frequent in Reynosa, while the number of negative trees was more common in Matamoros; San Fernando did not record any positive trees where *P. citrella* was present. **Conclusion.** In the municipalities of Matamoros and Reynosa, there is higher number of trees positive for *X. citri* pv. *citri*, with the municipality of Reynosa maintaining a strong association between *X. citri* pv. *citri* and *P. citrella*.

### Keywords

Bacterium, canker, citrus, distribution, leafminer.

## Introducción

En México, el cultivo de limón está representado por tres variedades cultivadas: limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka), limón mexicano (*C. aurantifolia* (Christm.) Swingle) y limón italiano (*C. limon* Burn.) (Martínez *et al.*, 2023). En conjunto, estos cultivos producen 3 275 291.14 t con un valor económico estimado en los \$29 151 926.30 millones de pesos (SIAP, 2024), donde el limón persa aporta el 50.12%, el limón mexicano el 45.30% y el limón italiano el 4.56%. En Tamaulipas se producen 113 884.29 t de limón, cuyo valor es de \$ 982 524.64 mil pesos; el cultivo de limón mexicano contribuye con \$ 46 199.37 mil pesos, con una producción de 5 777.02 t (SIAP, 2024), sin embargo, esta productividad es amenazada por la presencia de la bacteria *Xanthomonas citri* pv. *citri* (Hasse), agente causal del cancro de los cítricos (EPPO, 2022; Ali *et al.*, 2023).

El cancro de los cítricos es de origen asiático, en México su detección se dio a conocer en marzo de 2020, cuando se reportó la enfermedad en árboles de limón mexicano ubicados en los traspatios del Ejido “El Sabino”, Matamoros, Tamaulipas (EPPO, 2020). La sintomatología para esta enfermedad en la planta es por presencia de lesiones de color marrón circulares, elevadas, acorchadas, con bordes húmedos y halo amarillo, con apariencia de cráter (Jabeen *et al.*, 2016; Dewdney y Johnson, 2024). Síntomas que son similares para las hojas y frutos (FERENCE *et al.*, 2018); en donde estos últimos pierden su valor comercial (Luo *et al.*, 2020). Por ello, en regiones donde no se controla la enfermedad, las pérdidas de producción son estimadas hasta en un 100% (SADER-SENASICA, 2022); de manera que, de dispersarse y establecerse en las zonas comerciales de limón mexicano, tendría repercusiones económicas inmediatas.

La literatura sustenta que la diseminación de *X. citri* pv. *citri* ocurre por el agua libre que se encuentra en las hojas (que al gotear salpica nuevos brotes), por el transporte de material contaminado, y por las galerías causadas por las larvas del minador de la hoja de los cítricos *Phyllocnistis citrella* (Stainton) (Mirzaee, 2015; Osdaghi, 2023), dado que en dichas galerías *X. citri* pv. *citri* prospera favorablemente abarcando casi toda la lesión; en donde incluso se detecta que los hospederos tolerantes pueden volverse susceptibles a la enfermedad (DGSV-DCNRF, 2022). Esto hace necesario que se determine la interacción espaciotemporal entre *X. citri* pv. *citri* y *P. citrella*. El objetivo del estudio fue comparar y asociar la interacción espaciotemporal entre *Xanthomonas citri* pv. *citri* y *Phyllocnistis citrella* en árboles de *Citrus aurantifolia* en los municipios de San Fernando, Matamoros y Reynosa, del estado de Tamaulipas, México.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se realizó, de noviembre 2020 a diciembre 2024, en árboles de limón mexicano (*C. aurantifolia*) ubicados en la vía pública, traspacios y viveros comerciales de los municipios de San Fernando, Matamoros y Reynosa, del estado Tamaulipas, México (figura 1). Las condiciones climáticas asociadas a estos municipios varían, por lo que se encuentran temperaturas de los 20 a los 24 °C, y precipitaciones entre los 400 y 700 mm (INEGI, 2022).

### Diagnóstico de *Xanthomonas citri* pv. *citri* y registro de *Phyllocnistis citrella*

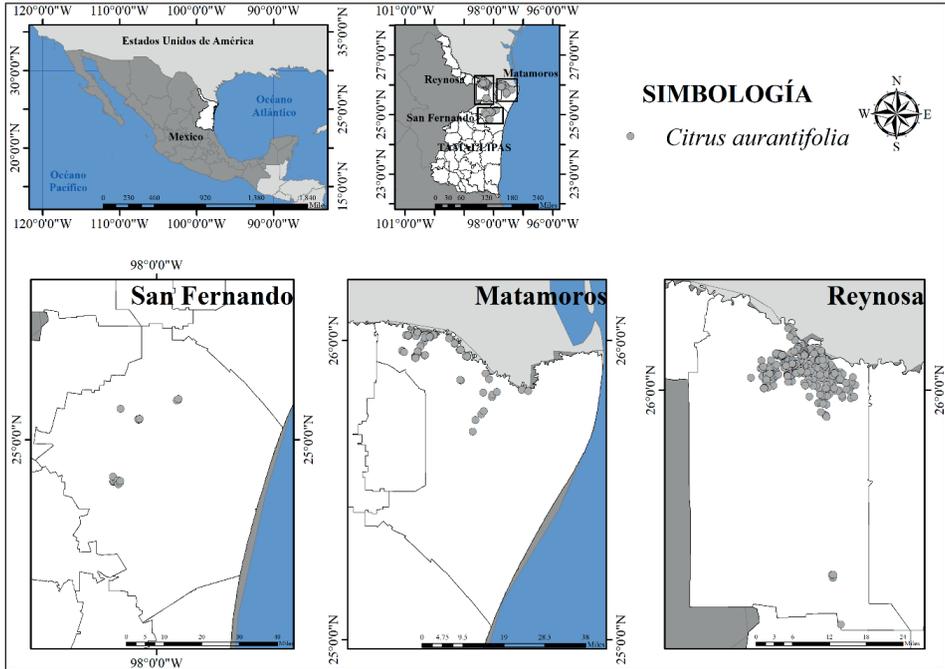
El diagnóstico de los árboles de limón mexicano positivos y negativos a *X. citri* pv. *citri* se dictaminó mediante la prueba de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) por parte del laboratorio de Biotecnología del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental de Río Bravo, Tamaulipas, siguiendo las recomendaciones del Protocolo de Diagnóstico Fitosanitario (SADER-SENASICA, 2018).

Para la detección del patógeno, se emplearon dos pares de cebadores: XACF/XACR (XACF: 5'-CGTCGCAATACGATTGGAAC-3'; XACR: 5'-CGGAGGCATTGTCGAAGGAA-3'), dirigidos a la amplificación del gen *hrpW*, y J-Rxg/J-RXc2 (J-Rxg: 5'-GCCTTGAGGCTGAGACATG-3'; J-RXc2: 5'-CAAGTTGCCTCGGAGCTATC-3'), que amplifican regiones del espaciador transcrito interno (ITS) entre los genes 16S y 23S del ADNr (Cubero y Graham, 2002; Park *et al.*, 2006). La PCR con los cebadores XACF/XACR se llevó a cabo en un volumen de reacción de 25  $\mu$ l, que contenía: tampón Taq 1  $\times$  1.5 mM de MgCl<sub>2</sub>, 0.10  $\mu$ M de cada cebador, 0.25 mM de cada dNTP, 0.01 % de gelatina y 2 U de ADN polimerasa Taq. Las condiciones de amplificación fueron: desnaturalización inicial a 94 °C durante cinco minutos; seguida de 30 ciclos de 94 °C por 15 segundos, 60 °C por 30 segundos y 72 °C por 30 segundos; con una extensión final a 72 °C durante siete minutos. Para la amplificación de las secuencias ITS con los cebadores J-Rxg/J-RXc2, la mezcla de reacción (25  $\mu$ l) contenía: tampón Taq 1  $\times$ , 1.5 mM de MgCl<sub>2</sub>, 0.04  $\mu$ M de cada cebador, 0.2 mM de cada dNTP y 1 U de ADN polimerasa Taq. Las condiciones del ciclaje fueron: desnaturalización inicial a 95

°C durante dos minutos; seguida de 35 ciclos de 95 °C por 60 segundos, 58 °C por 70 segundos y 72 °C por 75 segundos; con una extensión final a 72 °C durante 10 minutos.

Figura 1

Ubicación geográfica de los árboles de limón mexicano, *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle, en San Fernando, Matamoros y Reynosa, en Tamaulipas, México



El protocolo se estandarizó en un termociclador BIO-RAD modelo T 100TM, y fueron incluidos controles negativos. Por otra parte, el registro de *P. citrella* se realizó en función de la presencia de las galerías causadas por las larvas (figura 2); no se consideró la frecuencia de las galerías por árbol.

### Análisis estadístico

El número de árboles de *C. aurantifolia*, con síntomas del cancro de los cítricos o la presencia de *P. citrella*, positivos y negativos a *X. citri* pv. *citri*, fueron sometidos a un análisis de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Después, para estimar diferencias entre municipios, los datos fueron analizados a través de un análisis de varianza, y una comparación de medias de Tukey (Henson, 2015). Además, se realizó el Análisis Multivariado Permutacional de una vía (PERMANOVA de una vía), basado en la medida de distancia de Bray-Curtis, mediante 9 999 permutaciones (Anderson, 2017). Finalmente, para asociar el número de árboles positivos y negativos con los municipios se utilizó el análisis de correspondencia (Beh y Lombardo, 2025). Todas las pruebas se realizaron con un nivel de significancia del 0.05.

Figura 2

Galerías causadas por las larvas de *Phyllocnistis citrella* (Stainton) y síntomas del cancro de los cítricos en las hojas de los árboles de *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle



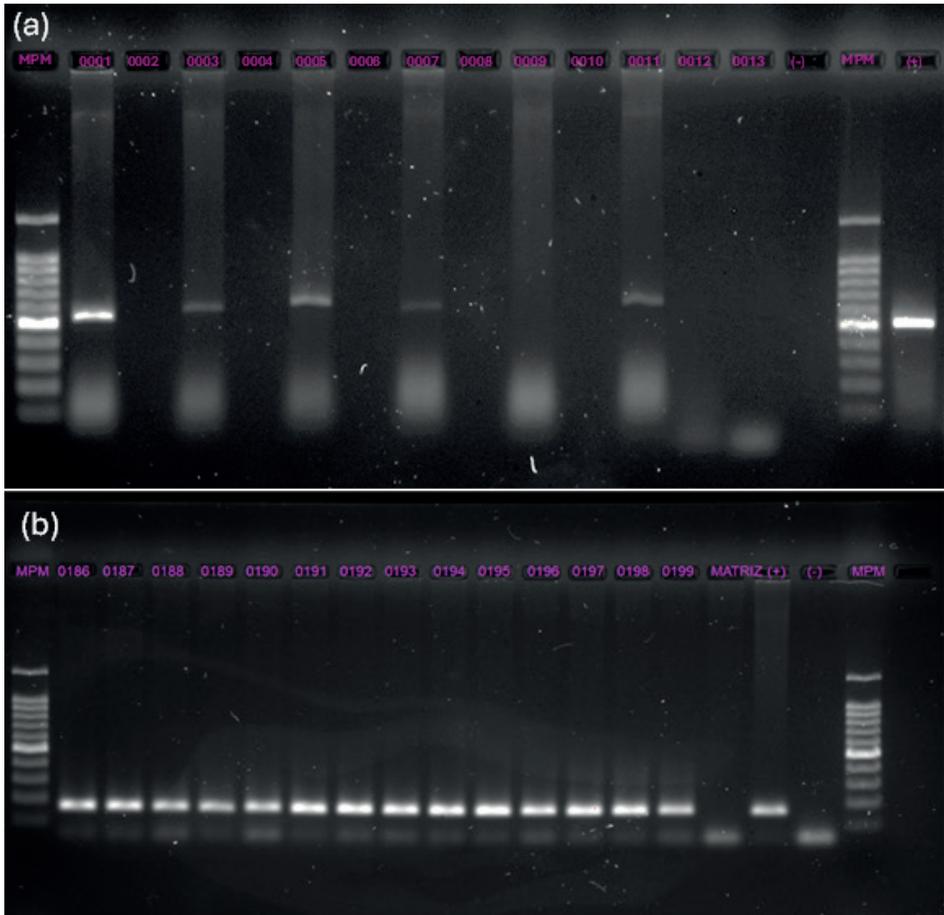
## Resultados

En total se inspeccionaron 643 árboles, donde el 40.27% (259) fueron negativos y el 59.72% (384) positivos a *X. citri* pv. *citri* (figura 3). De los árboles negativos, el 98.45% (255) fueron de traspatio, el 1.15% (3) de vía pública y el 0.38% (1) de viveros comerciales. En contraste, de los árboles positivos, el 98.95% (380) fueron árboles de traspatio y el 1.04% (4) de vía pública.

En la reacción de PCR realizada con los cebadores XACF/XACR, dirigidos al gen *hrpW* con un producto esperado de 561 pb (figura 3a), se detectó amplificación específica en las muestras 0001, 0002, 0004, 0006, 0008, 0010 y 0011, las cuales presentaron bandas definidas en la posición correspondiente al tamaño esperado, lo que confirma un diagnóstico positivo para la presencia de *X. citri* pv. *citri*. En contraste, las muestras 0003, 0005, 0007, 0009, 0012 y 0013 no mostraron bandas visibles, por lo que se consideran negativas. Por su parte, la PCR con los cebadores J-Rxg/J-RXc2, dirigidos a la región ITS del ADNr 16S-23S, con un producto esperado de 179 pb (figura 3b), mostró amplificación positiva en todas las muestras analizadas, correspondientes a los carriles 0186 al 0199. Las bandas obtenidas fueron de intensidad uniforme y concordantes con el tamaño esperado, lo que evidencia una detección consistente del ADN bacteriano en todas las muestras evaluadas.

Figura 3

Diagnóstico molecular de *Xanthomonas citri* pv. *citri* en árboles de limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) mediante PCR

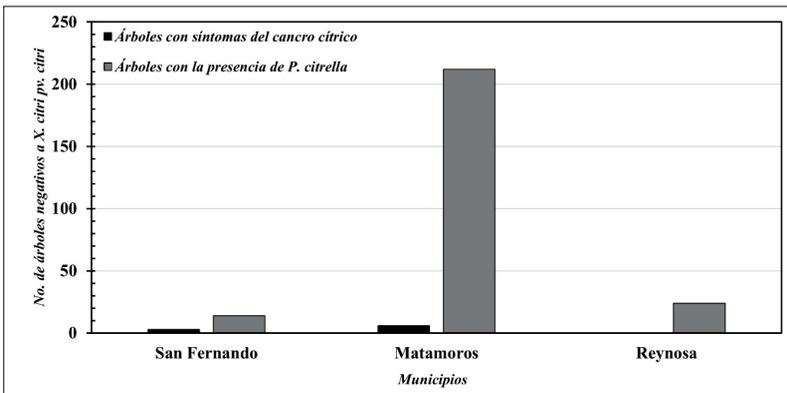


(a) Reacción amplificada utilizando los cebadores XACF/XACR dirigidos al gen *hrpW* (tamaño esperado: 561 pb). (b) Reacción con los cebadores J-Rxg/J-RXc2 dirigidos a la región ITS de los genes 16S-23S del ADNr (tamaño esperado: 179 pb). MPM: marcador de peso molecular; MATRIZ (+): control positivo; (-): control negativo. Las muestras que muestran una banda definida en la posición correspondiente al tamaño del amplicón esperado se consideran positivas para la presencia del patógeno, mientras que aquellas sin banda visible se interpretan como negativas.

Del total de árboles negativos a *X. citri* pv. *citri*, San Fernando aportó el 6.56% (17), Matamoros el 84.16% (218) y Reynosa el 9.26% (24); donde, aquellos donde se registró la presencia de *P. citrella*, alcanzaron niveles de 82.35% (14) para San Fernando, 97.24% (212) para Matamoros y 100% (24) para Reynosa (figura 4).

Figura 4

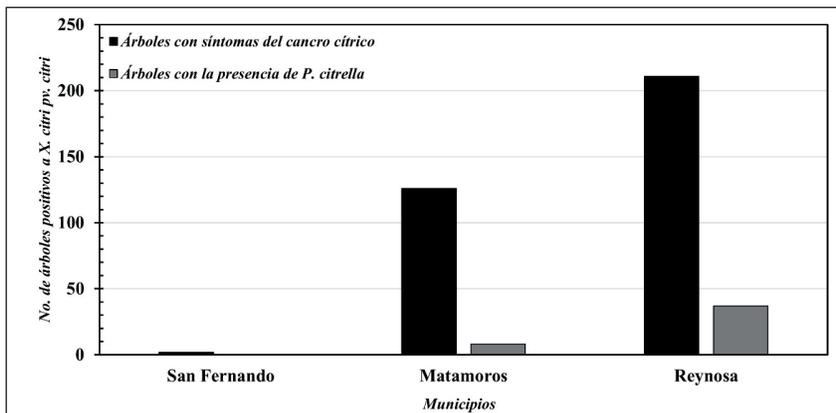
Número de árboles de *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle negativos a *Xanthomonas citri* pv. *citri* (Hasse), con síntomas del cancro de los cítricos o la presencia de *Phyllocnistis citrella* (Stainton), en San Fernando, Matamoros y Reynosa, en Tamaulipas, México



Por otro lado, del total de árboles positivos a *X. citri* pv. *citri*, San Fernando contribuyó con 0.52 % (2), Matamoros con 34.89 % (134) y Reynosa con 64.58 % (248). En San Fernando no se detectaron árboles positivos a *X. citri* pv. *citri* donde *P. citrella* estuviera presente, mientras que en Matamoros y Reynosa fueron de 5.97 % (8) y 14.91 % (37), respectivamente (figura 5).

Figura 5

Número de árboles de *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle positivos a *Xanthomonas citri* pv. *citri* (Hasse), con síntomas del cancro de los cítricos o la presencia de *Phyllocnistis citrella* (Stainton), en San Fernando, Matamoros y Reynosa, en Tamaulipas, México



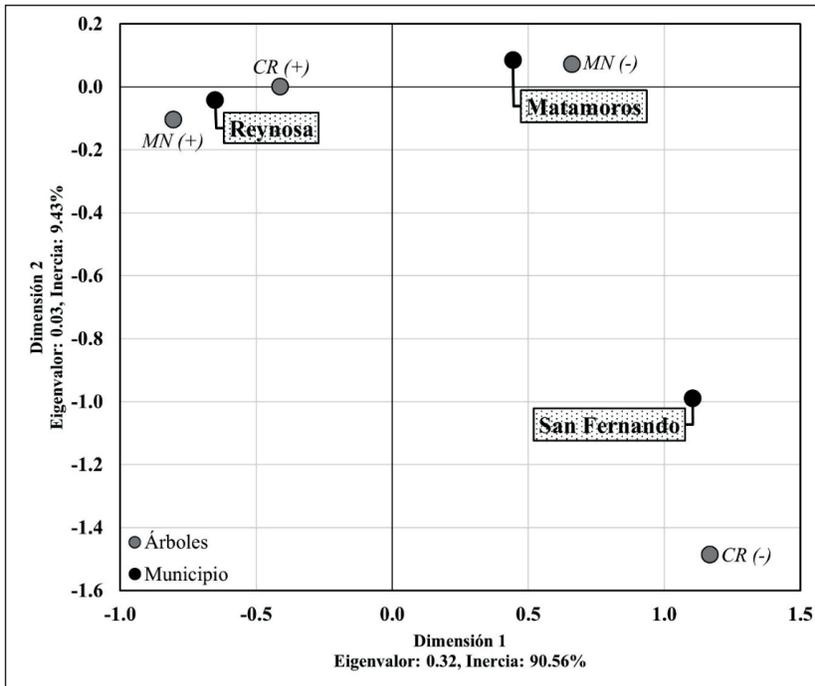
Los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov indicaron que el número de árboles positivos siguen una distribución de tipo normal ( $P > 0.05$ ), mientras que, el número de árboles negativos no cumplieron con el supuesto de normalidad ( $P < 0.05$ ). El análisis

de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey revelaron que el número de árboles positivos fue diferente en el municipio de San Fernando ( $P < 0.05$ ). En contraste, la prueba de PERMANOVA indicó que el número de árboles negativos fue similar en los tres municipios ( $F = 0.65, P > 0.05$ ).

El análisis de correspondencia mostró asociaciones estadísticamente significativas entre el número de árboles positivos y negativos a *X. citri* pv. *citri* en San Fernando, Matamoros y Reynosa ( $X^2_{gl=6} = 229.44, P < 0.001$ ); los dos primeros ejes explicaron de forma conjunta el 100% de la variación de los datos (figura 6). El número de árboles positivos, donde se registró la presencia de *P. citrella*, fue más frecuente para Reynosa; mientras que el número de árboles negativos fue más común en Matamoros. En contraste, el número de árboles negativos donde se contempló la sintomatología del cancro cítrico fue mayor en San Fernando y Matamoros; en tanto que el número de árboles positivos mostró un diámetro e inclinación cercano al promedio, por lo que fue independiente del municipio.

Figura 6

Análisis de correspondencia que asocia el número de árboles de *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle, con síntomas del cancro de los cítricos o la presencia de *Phyllocnistis citrella* (Stainton), positivos y negativos a *Xanthomonas citri* pv. *citri* (Hasse), en San Fernando, Matamoros y Reynosa, en Tamaulipas, México



Donde: CR (+) = árboles positivos donde se contempló los síntomas del cancro cítrico, MN (+) árboles positivos donde se registró la presencia de *P. citrella*, CR (-) árboles negativos donde se contempló los síntomas del cancro de los cítricos, MN (-) árboles negativos donde se registró la presencia de *P. citrella*.

## Discusión

A pesar de que *P. citrella* no se considera un vector de *X. citri* pv. *citri* (Diepenbrock *et al.*, 2024) existen estudios que mencionan que el daño causado por sus larvas aumenta la incidencia de la bacteria (Riasat *et al.*, 2020; Naqvi *et al.*, 2022); sin embargo, en nuestro estudio, *P. citrella* sólo contribuyó con 20.88% (45) de los árboles positivos, por lo que la intensidad de la enfermedad no aumentó con la presencia de las lesiones causadas por las larvas (Dilarri *et al.*, 2024). Aunque este resultado posiblemente se debe a que el 98.95% de los árboles positivos se encontraban en los traspacios de los municipios, de los cuales San Fernando y Matamoros mantienen características semejantes a un agroecosistema, donde se practican actividades culturales, sociales, biológicas y agronómicas (Salazar-Barrientos *et al.*, 2015; Terán-Samaniego *et al.*, 2025). Por ello, sería lógico suponer que el control de plagas mediante el vertimiento de agua jabonosa en la planta (Montemayor *et al.*, 2007) conllevará a registrar el menor número de árboles positivos con presencia de *P. citrella* para estos municipios. Este argumento también explicaría por qué en Reynosa se registró el mayor número de árboles positivos, dado que, para este municipio, los árboles de traspacio son aquellos que están dentro de una casa-habitación, en donde es poco probable que se practiquen actividades de control, conllevando a la proliferación de *X. citri* pv. *citri* y *P. citrella*.

Por tanto, aunque no se consideró para este estudio una posible estrategia de control, para minimizar este efecto sería la implementación del control biológico para *P. citrella*, que tiene reportes de 57% de control en áreas libres de aplicaciones químicas; donde el parasitismo contribuye con el 50% (Browning y Peña, 1995; Amalin *et al.*, 2002). Sin embargo, aunque en México se tienen reportadas 14 especies de parasitoides nativos para *P. citrella*, el impacto de estos no fue evaluado de manera eficaz (Perales *et al.*, 1999); por lo que en primer lugar sería recomendable que se evalué el parasitismo natural de las especies reportadas para Tamaulipas (Ruíz *et al.*, 2001). Un posible inicio sería que se estimé el parasitismo de *Zagrammosoma multilineatum* (Ashmead) (Hymenoptera: Eulophidae), el cual representa el 46.2% de los parasitoides de *P. citrella* reportados para México (Legaspi *et al.*, 2001).

Por otro parte, el no considerar la frecuencia de las galerías causadas por las larvas por cada hoja del árbol, también pudo influir en este resultado, teniendo en cuenta que la tasa de infección en las hojas alcanza un 75%, cuando *P. citrella* está presente (Sohi y Sandhu, 1968; Heppner, 1993; Chagas *et al.*, 2001). En las hojas, el primer síntoma del cancro cítrico aparece entre los primeros cuatro y siete días después de la inoculación de *X. citri* pv. *citri* (Shahbaz *et al.*, 2023) y, aunque las galerías de *P. citrella* pueden aparecer entre los primeros cuatro días, después de la eclosión de los huevos (Grafton-Cardwell *et al.*, 2008) no se tiene la certeza de que *P. citrella* facilite la infección por *X. citri* pv. *citri* (Hall *et al.*, 2010); no obstante, las hembras de *P. citrella* generalmente ovipositan huevos de manera individual en el envés de las hojas en desarrollo (Rathod *et al.*, 2020), las cuales están reportadas como altamente susceptibles para *X. citri* pv. *citri* (Fu *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2024). Esto hace necesario que en futuros estudios se contemple el ciclo

biológico completo del insecto, con la finalidad de obtener resultados más sólidos en cuanto a la participación de *P. citrella* en la exacerbación del cancro cítrico (Hall *et al.*, 2010).

Es esencial que este tipo de resultados y recomendaciones sean aplicables en función de la variedad de cítrico evaluada, debido a que tanto el control biológico de *P. citrella* como la incidencia del cancro de los cítricos pueden variar en función del tipo de hospedero (Amalin *et al.*, 2002; Grafton-Cardwell *et al.*, 2008; Hall *et al.*, 2010); por lo que nuestros resultados constituyen el primer antecedente entre la interacción espaciotemporal de *X. citri* pv. *citri* y *P. citrella* en los árboles de *C. aurantifolia* del noreste de Tamaulipas, México. Aunque es evidente que en futuros estudios se deben contemplar otro tipo de variables, como las condiciones climáticas asociadas, las cuales están íntimamente relacionadas con la biología de *X. citri* pv. *citri* y *P. citrella* (Nawaz *et al.*, 2021; Hameed *et al.*, 2022), esto permitirá identificar el momento más idóneo para la liberación de enemigos naturales y aplicaciones químicas que minimicen el impacto de *X. citri* pv. *citri* y *P. citrella*. Finalmente, los resultados presentados pueden incorporarse como información base para el diseño de los planes de manejo integrado en contra del cancro de los cítricos; por ejemplo, se sugiere que se implemente nuevas estrategias de control como el uso del control biológico para *P. citrella*, y que estas sean mayormente dirigidas al municipio de Reynosa, con el objetivo de reducir la propagación de *X. citri* pv. *citri*; más aún, si se considera que no todos los propietarios de los traspatios permiten la erradicación de árboles enfermos.

## Conclusiones

En los municipios de Matamoros y Reynosa, del estado de Tamaulipas, se concentró el mayor número de árboles infectados con *X. citri*, destacando el municipio de Reynosa por presentar una asociación significativa entre *X. citri* pv. *citri* y *P. citrella*.

## Agradecimientos

Al Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Tamaulipas (CESAVETAM) por compartir la base de datos, y a los revisores que contribuyeron de forma significativa para la mejora del artículo.

## Literatura citada

- Ali, S.; Hameed, A.; Muhae-Ud-Din, G.; Ikhlag, M.; Ashfaq, M.; Atiq, M.; Ali, F.; Zia, Z. U.; Naqvi, S. A. H. y Wang, Y. (2023). Citrus canker: a persistent threat to the worldwide citrus industry-an analysis. *Agronomy*. 13(4): 1112. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041112>
- Amalin, D. M.; Peña, J. E.; Duncan, R. E.; Browning, H. W. y McSorley, R. (2002). Natural mortality factors acting on citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*, in lime orchards in south Florida. *BioControl*. 47(3): 327-347. <https://doi.org/10.1023/A:1014815000826>
- Anderson, M. J. (2017). *Permutacional multivariate analysis of variance (PERMANOVA)*. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online. In: Balakrishnan, N.; Colton, T.; Everitt, B.; Piegorsch, W.; Ruggeri, F. and Teugels, J. L. Editors. New Jersey, United States of America. Pp. 1-15.

- Beh, E. J. y Lombardo, R. (2025). A general similarity measure for simple correspondence analysis. *Commun. Stat. Theory Methods*. 54(13): 4062-4082. <https://doi.org/10.1080/03610926.2024.2413842>
- Browning, H. W. y Peña, J. E. (1995). Biological control of the citrus leafminer by its native parasitoids and predators. *Citrus ind.* 76: 46-48.
- Chagas, M. C. M.; Parra, J. R. P.; Namekata, T.; Hartung, J. S. y Yamamoto, P. T. (2001). *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) and its relationship with the citrus canker bacterium *Xanthomonas axonopodis* pv *citri* in Brazil. *Neotrop. Entomol.* 30(1): 55-59. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2001000100009>
- Cubero, J. y Graham, J. H. (2002). Genetic relationship among worldwide strains of *Xanthomonas* causing canker in citrus species and design of new primers for their identification by PCR. *Appl. Environ. Microbiol.* 68: 1257-1264. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.3.1257-1264.2002>.
- Dewdney, M. M. y Johnson, E. G. (2024). 2024-2025 Florida citrus production guide: citrus canker. *EDIS*. 2024: Pp. 182. <https://doi.org/10.32473/edis-cg040-2023>
- DGSV-DCNRF. (2022). Ficha técnica, *Xanthomonas citri* subsp. *citri*. <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Fichas%20tecnicas/Ficha%20T%C3%A9cnica%20de%20Cancro%20de%20los%20citricos.pdf> (Consultado 16 abril 2025).
- Diepenbrock, L. M.; Qureshi, J. y Stelinski, L. (2024). 2024-2025 Florida citrus production guide: citrus leafminer. *EDIS*. 2024, CG098. <https://doi.org/10.32473/edis-cg098-2023>
- Dilari, G.; Novaes, L. C. L.; Jakob, F.; Schwaneberg, U. y Ferreira, H. (2024). Bifunctional peptides as alternatives to copper-based formulations to control citrus canker. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 108: 196. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12908-3>
- EPPO. (2020). First report of citrus canker in Mexico. <https://gd.eppo.int/reporting/article-6775> (Consultado 18 junio 2025).
- EPPO. (2022). EPPO Datasheet: *Xanthomonas citri* pv. *citri*. <https://gd.eppo.int/taxon/XANTCI/datasheet> (Consultado 18 junio 2025).
- Ference, C. M.; Gochez, A. M.; Behlau, F.; Wang, N.; Graham, J. H. y Jones, J. B. (2018). Recent advances in the understanding of *Xanthomonas citri* ssp. *citri* pathogenesis and citrus canker disease management. *Mol. Plant Pathol.* 19(6): 1302-1318. <https://doi.org/10.1111/mpp.12638>
- Fu, H.; Zhao, M.; Xu, J.; Tan, L.; Han, J.; Li, D.; Wang, M.; Xiao, S.; Ma, X. y Deng, Z. (2020). Citron C-05 inhibits both the penetration and colonization of *Xanthomonas citri* subsp. *citri* to achieve resistance to citrus canker disease. *Hortic. Res.* 7: 58. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-0278-4>
- Grafton-Cardwell, E. E.; Godfrey, K. E.; Headrick, D. H.; Muak, P. A. y Peña, J. E. (2008). Citrus leafminer and citrus peelminer. <https://www.researchgate.net/publication/274721037> (Consultado 16 abril 2025).
- Hall, D. G.; Gottwald, T. R. y Bock, C. H. (2010). Exacerbation of citrus canker by citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* in Florida. *Fla. Entomol.* 93(4): 558-566. <https://doi.org/10.1653/024.093.0413>
- Hameed, A.; Atiq, M.; Ahmed, A.; Rajput, N. A.; Younas, M.; Rehman, A.; Alam, M. W.; Sarfaraz, S.; Liaqat, N.; Fatima, K.; Tariq, K.; Jameel, S.; Ghazali, H. M. Z. U.; Vachova, P.; Salem, S. H. y Ansari, M. J. (2022). Predicting the impact of environmental factors on citrus canker through multiple regression. *PLoS ONE*. 17(4): e0260746. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260746>

- Henson, R. H. (2015). *Analysis of variance (ANOVA)*. Brain mapping: an encyclopedic reference, California, United States of America. In: Toga, A. W. Editor. Pp. 477-481.
- Heppner, J. B. (1993). Citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*, in Florida (Lepidoptera: Gracillariidae: Phyllocnistinae). *Trop. Lepid.* 4: 49-64.
- INEGI. (2022). Aspectos geográficos de Tamaulipas. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/889463913344.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463913344.pdf) (Consultado 18 agosto 2025).
- Jabeen, T.; Arshad, H. M. I.; Saleem, K.; Ali, S.; Ullah, E.; Naureen, S. y Babar, M. N. (2016). Morphological and biochemical characterization of *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* isolates causing citrus canker disease in Pakistan. *PSM Microbiol.* 1(1): 10-17.
- Legaspi, J. C.; French, J. V.; Garza, A. y Legaspi, B. C. (2001). Populations dynamics of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae), and its natural enemies in Texas and Mexico. *Biol. Control* 21(1): 84-90. <https://doi.org/10.1006/bcon.2000.0907>
- Liu, L.; Liu, X.; Liu, L.; Zhu, T.; Ye, R.; Chen, H.; Zhou, L.; Wu, G.; Tan, L.; Han, J.; Li, R., Ma, X. y Deng, Z. (2024). Clarification of the infection pattern of *Xanthomonas citri* subsp. *citri* on citrus fruit by artificial inoculation. *Plant Methods.* 20: 65. <https://doi.org/10.1186/s13007-024-01190-7>
- Luo, W.; Posny, D.; Kriss, A. B.; Graham, J. H.; Poole, G. H.; Taylor, E. L.; McCollum, G.; Gottwald, T. R. y Bock, C. H. (2020). Seasonal and post-harvest population dynamics of the Asian citrus canker pathogen *Xanthomonas citri* subsp. *citri* on grapefruit in Florida. *Crop Prot.* 137: 105227. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105227>
- Martínez, J.; Perea, M.; Ochoa, F. y Bobadilla, E. E. (2023). Rentabilidad de limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) en Apatzingán, Michoacán. *Rev. Mex. Agroneg.* 52: 415-426. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.337037>
- Mirzaee, M. R. (2015). Citrus bacterial canker pustules are associated with leafminer galleries in Iran. *J. Plant Pathol.* 97(1): 213-213. <https://doi.org/10.4454/JPPV97I1.033>
- Montemayor, M. C.; Estrada, P. C.; Packard, J. M.; Treviño, E. J. y Villaón, H. (2007). El traspatio un recurso local en los servicios de “turismo rural familiar” alternativa de desarrollo sustentable municipal – caso: San Carlos, Tamaulipas, México. *TURyDES.* 1(1): 1-13.
- Naqvi, S. A. H.; Wang, J.; Malik, M. T.; Umar, U. U. D.; Rehman, A. U.; Hasnain, A.; Sohail, M. A.; Shakeel, M. T.; Nauman, M.; Rehman, H. U.; Hassan, M. Z.; Fatima, M. y Datta, R. (2022). Citrus canker – distribution, taxonomy, epidemiology, disease cycle, pathogen biology, detection, and management: a critical review and future research agenda. *Agronomy.* 12(5): 1075. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051075>
- Nawaz, R.; Abbasi, N. A.; Hafiz, I. A.; Khan, M. F. y Khalid, A. (2021). Environmental variables influence the developmental stages of the citrus leafminer, infestation level and mined leaves physiological response of Kinnow mandarin. *Sci. Rep.* 11: 7720. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87160-8>
- Osdaghi, E. (2023). *Xanthomonas citri* pv. *citri* (asian citrus canker). *CABI Compendium.* 56921: 1-21. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.56921>
- Park, D.; Hyun, J.; Park, Y.; Kim, J.; Kang, H.; Hahn, J. y Go, S. (2006). Sensitive and specific detection of *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* by PCR using pathovar specific primers based on *hrpW* gene sequences. *Microbiol. Res.* 161: 145-149. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2005.07.005>

- Perales, M. A.; Arredondo, H. C. y Garza, E. (1999). Control biológico del minador de la hoja de los cítricos. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/172891/Ficha\\_CB\\_14\\_Control\\_biol\\_gico\\_del\\_minador\\_de\\_la\\_hoja\\_de\\_los\\_c\\_tricos.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/172891/Ficha_CB_14_Control_biol_gico_del_minador_de_la_hoja_de_los_c_tricos.pdf) (Consultado 16 abril 2025).
- Rathod, A. R.; Shah, K. D.; Kotak, J. N. y Ghelani, M. K. (2020). Biology on leaf miner, *Phyllocnistis citrella* (Stainton) infesting sweet orange. *JPP*. 9(4): 209-213.
- Riasat, A.; Ghazanfar, M. U. y Raza, W. (2020). Interaction of citrus canker with *Phyllocnistis citrella* Stainton. *Pak. J. Phytopathol.* 32(1): 1-7. <https://doi.org/10.33866/phytopathol.032.01.0490>
- Ruiz, E.; Martínez, C.; Coronado, J. M.; Mateos, J. R. y Peña, J. E. (2001). Himenópteros parasitoides de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Phyllocnistidae) en Tamaulipas y norte de Veracruz, México, con una clave para las especies. *Folia Entomol. Mex.* 40: 83-91.
- SADER-SENASICA. (2018). Protocolo de diagnóstico: *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (Gabriel et al., 1989) Schaad et al., 2007 (cancro de los cítricos). [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/723694/17\\_Protocolo\\_Xanthomonas\\_citri\\_V.1\\_Pub.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/723694/17_Protocolo_Xanthomonas_citri_V.1_Pub.pdf) (Consultado 16 abril 2025).
- SADER-SENASICA. (2022). Análisis de impacto económico ante un posible establecimiento y dispersión del cancro de los cítricos en México en áreas comerciales. [https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2022/agosto/An%C3%A1lisisdeimpactoecon%C3%B3micoanteunposibleestablecimientoydispersi%C3%B3ndelCancrodelosc%C3%ADtricosenM%C3%A9xicoen%C3%A1reascomerciales\\_107e4f44-49be-4b9a-8058-df20da906b1a.pdf](https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2022/agosto/An%C3%A1lisisdeimpactoecon%C3%B3micoanteunposibleestablecimientoydispersi%C3%B3ndelCancrodelosc%C3%ADtricosenM%C3%A9xicoen%C3%A1reascomerciales_107e4f44-49be-4b9a-8058-df20da906b1a.pdf) (Consultado 18 junio 2025).
- Salazar-Barrientos, L. L.; Magaña-Magaña, M. A. y Latournerie-Moreno, L. (2015). Importancia económica y social de la agrobiodiversidad del traspatio en una comunidad rural de Yucatán, México. *ASyD*. 12: 1-14.
- Shahbaz, E.; Ali, M.; Shafiq, M.; Atiq, M.; Hussain, M.; Balal, R. M.; Sarkhosh, A.; Alferez, F.; Sadiq, S. y Shahid, M. A. (2023). Citrus canker pathogen, its mechanism of infection, eradication, and impacts. *Plants*. 12(1): 123. <https://doi.org/10.3390/plants12010123>
- SIAP. (2024). Anuario estadístico de la producción agrícola. [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/) (Consultado 18 junio 2025).
- Sohi, G. S. y Sandhu, M. S. (1968). Relationship between citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella* Stainton) injury and citrus canker (*Xanthomonas citri* (Hasse) Dowson) incidence on citrus leaves. *J. Res. Punjab. Agri. Univ.* 5: 66-69.
- Terán-Samaniego, K.; Robles-Parra, J. M.; Vargas-Arispuro, I., Martínez-Télez, M. Á.; Garza-Lagler, M. C.; Félix-Gurrola, D.; Maycotte-de la Peña, M. L.; Tafolla-Arellano, J. C.; García-Figueroa, J. A. y Espinoza-López, P. C. (2025). Agroecology and sustainable agriculture: conceptual challenges and opportunities-a systematic literature review. *Sustainability*. 17(5): 1805. <https://doi.org/10.3390/su17051805>