

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

Maestría en Ciencias en Protección Vegetal

“Caracterización molecular y epidemiológica de la leprosis de los cítricos en la región centro-norte del estado de Veracruz”

Que como requisito para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Protección Vegetal

P R E S E N T A

Sebastián Ortiz Saavedra

Bajo la supervisión de:

Dr. Héctor Lozoya Saldaña

Chapingo, Estado de México, junio de 2026



APROBADA

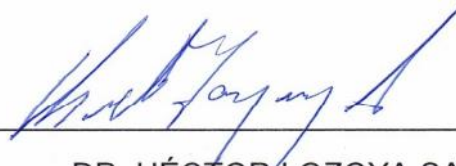


“Caracterización molecular y epidemiológica de la leprosis de los cítricos en la región centro-norte del estado de Veracruz”

Tesis realizada por **Sebastián Ortiz Saavedra** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL:

DIRECTOR:



DR. HÉCTOR LOZOYA SALDAÑA

CO-DIRECTOR:



DR. SANTIAGO DOMÍNGUEZ MONGE

ASESOR:



M.C. LUIS EMILIO CASTILLO MÁRQUEZ

Chapingo, Estado de México, junio de 2026

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía en este camino y brindarme las fuerzas para cumplir esta meta, sin su bendición nada de esto sería posible.

A mis padres, Gabriel e Ivette, por ser el pilar fundamental de mi vida y por el apoyo incondicional en cada paso de esta etapa. Gracias por creer en mí.

A mis hermanos, Gabriel, Edson y Erick, por ser mis grandes ejemplos a seguir y por el apoyo brindado.

A mi sobrina Camila, por llenar mis días de amor y alegría.

AGRADECIMIENTOS

A la **Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)**, por otorgarme una beca de estudios para mi formación en el posgrado.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, en especial al **Programa de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal**, por darme la oportunidad de pertenecer a la institución y por la formación académica que me permitieron crecer profesionalmente.

Al **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias campo experimental Ixtacuaco (INIFAP-CEIXTA)** por abrirme las puertas para trabajar en la investigación.

Al **Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Veracruz** por su apoyo y accesibilidad de la información brindada.

A **SENASICA-DGSV** por su apoyo en los estudios moleculares

A mi comité asesor;

Al **Dr. Héctor Lozoya Saldaña** por su dirección y apoyo académico en el desarrollo de la investigación.

Al **Dr. Santiago Domínguez Monge** por su orientación, apoyo logístico y por brindarme el conocimiento para la culminación de esta investigación

Al **M.C. Luis Emilio Castillo Márquez** por su apoyo y tiempo brindado para la culminación de esta investigación.

A mis compañeros de maestría **Julio David y Alejandra** por el apoyo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Sebastián Ortiz Saavedra

Fecha de nacimiento: 27 de octubre de 2000

Lugar de nacimiento: Martínez de la Torre, Veracruz, México

CURP: OISS001027HVZRVBA3

Profesión: Ingeniero Agrónomo

Cédula profesional: 14021069

Formación académica profesional

Empezó sus estudios profesionales entre 2018-2022 en la Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Campus Poza Rica-Tuxpan. Realizando la tesis denominada “Impacto productivo de *Candidatus Liberibacter asiaticus* en limón Persa cultivado en altas densidades en el Estado de Veracruz”, donde obtuvo una mención honorífica. Durante un periodo de tiempo se desempeñó como asistente de investigación en el Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Ixtacuaco, donde colaboró en diversos proyectos enfocados en la citricultura. En 2024, ingresó a la Maestría en Ciencias en Protección Vegetal en la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DATOS BIOGRÁFICOS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE APÉNDICES	xi
RESUMEN GENERAL	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Justificación	3
1.2. Objetivo General:.....	4
1.2.1. Objetivos Específicos:	4
1.4. LITERATURA CITADA	5
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. Importancia global de los cítricos.....	7
2.2. La citricultura en México	8
2.3. Cultivo de naranja en México.....	9
2.4. Leprosis de los cítricos	10
2.5. Estatus epidemiológico de CiLV a nivel mundial	11
2.6. Situación actual de CiLV en México	12
2.7. Epidemiología de la Leprosis de los cítricos	13
2.8. Detección e Identificación.....	13
2.8.1. Sintomatología.....	13
2.8.2. Metodos de detección e identificación.....	15
2.9. Regionalización epidemiológica.....	16
2.9.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	16

2.9.2. Estadística multivariada.....	17
2.9.2.1. Análisis de Componentes Principales (ACP).....	17
9.2.2. Análisis de factores	18
2.10. Caracterización espacial de focos	18
2.5 Literatura Citada	20
CAPÍTULO 3. REGIONALIZACIÓN Y RIESGO DE DISPERSIÓN Y ESTABLECIMIENTO DEL CiLV EN LA ZONA CENTRO-NORTE DE VERACRUZ	26
3.1 INTRODUCCIÓN.....	27
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.2.1. Detecciones del CiLV en Veracruz	28
3.2.2. Riesgo de dispersión con base en método ponderativo	29
3.2.3. Riesgo de dispersión a través de un índice multivariado.....	32
3.2.4 Muestreo transectual de CiLV	33
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.3.1. Análisis de detecciones del CiLV en la zona centro-norte de Veracruz	35
3.3.2. Riesgo de dispersión con base en método ponderativo	37
3.3.3. Riesgo de dispersión a través de un índice multivariado.....	39
3.4 CONCLUSIONES	46
3.5 LITERATURA CITADA	48
CAPÍTULO 4. PATRÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL CiLV EN LA ZONA CENTRO-NORTE DE VERACRUZ.....	52
3.1 INTRODUCCIÓN.....	53
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	54
3.2.1. Sitios de estudio	54
3.2.2. Muestreo restrictivo en censo.....	55
3.2.3 Análisis molecular.....	57

3.2.4 Análisis geoestadístico	57
3.2.5 Análisis espacio-temporal de CiLV	58
3.2.6 Análisis espacial	59
3.2.7 Determinación del tipo de patrón espacial.....	60
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
3.3.1. Detección molecular del CiLV	62
3.2.3 Análisis geoestadístico	64
3.2.4 Índices de dispersión.....	69
3.4 CONCLUSIONES	71
3.5 LITERATURA CITADA	73
CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES	76
APÉNDICES	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución geográfica de la producción citrícola en el mundo. Fuente: FAO (2023). Mapa generado mediante Mapchart.....	7
Figura 2. Principales estados productores de cítricos en México.....	8
Figura 3. Principales estados productores de naranja en México.....	10
Figura 4. Distribución geográfica de la leprosis de los cítricos a nivel mundial. Fuente (EPPO, 2026).....	11
Figura 5. Avance de leprosis de los cítricos en la República mexicana.....	12
Figura 6. Síntomas de leprosis (CiLV-C) en ramas, frutos y hojas de naranja dulce (<i>Citrus sinensis</i>) en la región centro-norte del estado de Veracruz.....	15
Figura 7. Detecciones de CiLV, causada por <i>Cilevirus leprosis</i> en planta, en los municipios de la zona centro-norte. Reporte oficial de detecciones: 2017 (Mapas generados con información de SENASICA).....	29

Figura 8. Diagrama metodológico para la determinación del nivel de riesgo y para la selección del número de sitios de muestreo mediante el método ponderativo basado en los subsistemas hospedante y enfermedad.....	31
Figura 9. Sitios de muestreo para caracterización del CiLV en cítricos en la zona centro-norte de Veracruz.....	34
Figura 10. Muestreo en método en “T” para la caracterización del CiLV en cítricos.....	35
Figura 11. Detecciones históricas de leprosis, causada por <i>Cilevirus leprosis</i> en la zona centro-norte de Veracruz. Reporte oficial de detecciones 2017-2023 (Mapa generado con información de SENASICA).....	36
Figura 12. Identificación y delimitación de focos activos de leprosis, causada por <i>Cilevirus leprosis</i> en la zona centro-norte de Veracruz. Reporte oficial de detecciones 2017-2023 (Mapa generado con información de SENASICA).....	37
Figura 13. Mapa interpolado de positivos históricos (2017-2023) de CiLV en la región centro-norte de Veracruz.....	38
Figura 14. Interpolación de niveles de riesgo de establecimiento y dispersión del CiLV en la zona centro-norte de Veracruz.....	39
Figura 15. Mapa interpolado de índices de riesgo epidemiológico multivariado en la región Centro-Norte de Veracruz.....	43
Figura 16. Dendograma de similaridad para 12 huertas evaluadas considerando una distancia euclidiana de 0.80 y seis variables (temperatura, humedad relativa, manejo fitosanitario, precipitación, incidencia e infestación del vector) georeferenciadas durante 2025-2026 en la zona centro-norte de Veracruz. Los grupos formados fueron: Grupo 1: H12. Grupo 2: H4, H5, H6. Grupo 3: H7, H8, H11. Grupo 4: H1, H2, H3, H9, H10.....	45
Figura 17. Localización geográfica de los sitios de estudio en la región centro-norte de Veracruz y zona colindante de Puebla, México.....	55

Figura 18. Porcentaje de incidencia de leprosis de los cítricos en las huertas Lomas de las Flores y Miguel Alemán Valdez, ubicadas en la región centro-norte de Veracruz, evidenciado el incremento de la incidencia a lo largo del tiempo aún bajo manejo focal.....	59
Figura 19. Mapas interpolados de incidencia del CiLV en la huerta Loma de las Flores, ubicada en el municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, correspondientes a dos fechas de evaluación: A) diciembre de 2024 y B) julio de 2025.....	65
Figura 20. Mapas interpolados de incidencia del CiLV en la huerta Miguel Alemán Valdez, ubicada en el municipio de Espinal, Veracruz correspondientes a dos fechas de evaluación: A) octubre de 2025 y B) diciembre de 2025.....	66
Figura 21. Mapas de interpolación geoestadística de los sitios de estudios en la región centro-norte de Veracruz, que muestran distribución espacial de árboles con síntomas de CiLV.....	68

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Matriz multivariada de 12 huertos seleccionados considerando variable de los subsistemas del sistema epidemiológico.....	33
Cuadro 2. Selección de los componentes principales (PC) con base a los valores propios y la varianza acumulada, a partir de 12 huertas georreferenciadas durante 2025-2026 en la zona centro-norte de Veracruz.....	40
Cuadro 3. Variables de mayor influencia para determinar enfermedad considerando los componentes principales mayores de 12 huertas georreferenciadas durante 2025-2026 en la zona centro-norte de Veracruz.....	41
Cuadro 4. Selección de variables con base al análisis de factores rotados para 12 huertas georreferenciadas durante 2025-2026 en la zona centro-norte de Veracruz.....	42

Cuadro 5. Características de las 14 huertas censadas utilizadas para determinar el patrón espacio-temporal del CiLV en la región centro-norte de Veracruz entre 2024-2026.....	56
Cuadro 6. Incidencia temporal del CiLV en área restrictiva de la huerta Loma de las Flores, en el municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, expresada como incidencia relativa y acumulada.....	58
Cuadro 7. Incidencia temporal del CiLV en área restrictiva de la huerta Miguel Alemán Valdez, en el municipio de Espinal, Veracruz, expresada como incidencia relativa y acumulada.....	58
Cuadro 8. Resultados del diagnóstico molecular mediante RT-PCR para la detección de <i>Cilevirus leprosis</i> (CiLV-C) en la región centro-norte de Veracruz..	63
Cuadro 9. Arreglo espacial del CiLV en dos huertos comerciales de naranja Valencia en la región centro-norte de Veracruz, determinado mediante índices de dispersión.....	70
Cuadro 10. Arreglo espacial del CiLV en 13 huertos comerciales de naranja Valencia en la región centro-norte de Veracruz, analizado mediante técnicas de ajuste a la distribución beta-binomial.....	70

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Regionalización epidemiológica del CiLV.....	78
Apéndice 2. Patrón espacial del CiLV.....	79

CARACTERIZACIÓN MOLECULAR Y EPIDEMIOLÓGICA DE LA LEPROSIS DE LOS CÍTRICOS EN LA REGIÓN CENTRO-NORTE DEL ESTADO DE VERACRUZ

RESUMEN GENERAL

La leprosis de los cítricos (CiLV), es una de las enfermedades virales más devastadoras de los cítricos, por lo que su establecimiento y diseminación representa un riesgo potencial. El objetivo de este estudio fue caracterizar molecular y epidemiológicamente el CiLV en la región centro-norte de Veracruz, con el fin de generar bases técnicas que contribuyan al manejo fitosanitario y la optimización de la Campaña contra el CiLV. Para ello: i) se regionalizó la zona mediante un método ponderativo, SIG y análisis multivariado; ii) determinación del riesgo de establecimiento y dispersión del CiLV; y iii) caracterización espacio-temporal a partir de focos de infección. La detección molecular mediante RT-PCR confirmó al *Cilevirus leprosis* (CiLV-C) como el tipo viral predominante. A partir de 12 huertas evaluadas, los análisis de componentes principales y de factores identificaron a la temperatura, humedad relativa, precipitación, incidencia e infestación de vector como variables determinantes del sistema epidemiológico. Estas variables fueron integradas en un índice multivariado utilizado para elaboración de mapas interpolados en QGIS®, los cuales evidenciaron focos activos en la zona centro con alta inductividad epidémica, mientras que la zona norte presentó menor inductividad, aunque con riesgo potencial de establecimiento. La caracterización espacio-temporal se realizó en 14 huertas mediante interpolación geoestadística por el método de kriging en Surfer® e índices de dispersión (*ordinary runs*, varianza/media y Morisita), identificando patrones agregados y uniformes en la zona centro, asociados a un escenario endémico con incidencias entre 6 y 100%. En contraste, en la zona norte, se observó una transición de patrones aleatorios hacia agregados, asociada a eventos de infección primaria y posterior dispersión secundaria mediada por el ácaro *Brevipalpus*. Los resultados demuestran que el uso integrado de herramientas moleculares, geoestadísticas y multivariadas permite redefinir zonas de riesgo y fortalecer los sistemas de vigilancia epidemiológica y manejo del CiLV-C en México.

Palabras Clave: CiLV, regionalización epidemiológica, patrón espacio-temporal, geoestadístico.

¹Tesis de Maestría en Protección Vegetal, Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Sebastián Ortiz Saavedra
Director de tesis: Héctor Lozoya Saldaña

MOLECULAR AND EPIDEMIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF CITRUS LEPROSIS IN THE NORTH-CENTRAL REGION OF THE STATE OF VERACRUZ

ABSTRACT

Citrus leprosis (CiLV) is one of the most devastating viral diseases affecting citrus crops; therefore, its establishment and spread represent a potential risk. The objective of this study was to characterize CiLV at the molecular and epidemiological levels in the north-central region of Veracruz, in order to generate technical foundations that contribute to phytosanitary management and the optimization of the Citrus Leprosis Control Campaign. To this end: (i) the study area was regionalized using a weighted method, GIS, and multivariate analysis; (ii) the risk of establishment and spread of CiLV was determined; and (iii) a spatiotemporal characterization was performed based on infection foci. Molecular detection through RT-PCR confirmed *Cilevirus leprosis* (CiLV-C) as the predominant viral type. From 12 evaluated orchards, principal component and factor analyses identified temperature, relative humidity, precipitation, incidence, and vector infestation as key variables in the epidemiological system. These variables were integrated into a multivariate index used to generate interpolated maps in QGIS®, which revealed active foci in the central zone with high epidemic inductivity, while the northern zone showed lower inductivity, although with a potential risk of establishment. Spatiotemporal characterization was conducted in 14 orchards using geostatistical interpolation through kriging in Surfer® and dispersion indices (ordinary runs, variance/mean ratio, and Morisita index). Aggregated and uniform patterns were identified in the central zone, associated with an endemic scenario with incidence ranging from 6% to 100%. In contrast, in the northern zone, a transition from random to aggregated patterns was observed, associated with primary infection events and subsequent secondary dispersal mediated by the mite *Brevipalpus*. The results demonstrate that the integrated use of molecular, geostatistical, and multivariate tools allows for the redefinition of risk areas and strengthens epidemiological surveillance systems and CiLV-C management in Mexico.

Keywords: CiLV, epidemiological regionalization, spatiotemporal pattern, geostatistics.

² Master's Thesis in Plant Protection, Department of Agricultural Parasitology, Autonomous University of Chapingo
Author: Sebastian Ortiz Saavedra
Thesis Director: Hector Lozoya Saldaña

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La citricultura constituye uno de los sectores agrícolas de mayor importancia a nivel global, con una producción anual estimada de 198.4 millones de toneladas. Dentro de este panorama, las naranjas representan aproximadamente el 39.1% del total, mientras que el conjunto de mandarinas, clementinas y tangerinas aporta el 40.11%, el resto corresponde a limones y pomelos (FAOSTAT, 2023). Cabe destacar que México se posiciona entre los principales países productores de cítricos, participando con el 4.5% de la producción mundial y destacando especialmente en la producción de naranja, limones y mandarinas (FAOSTAT, 2023; SIAP, 2024).

A pesar del crecimiento sostenido y su relevancia económica, la citricultura enfrenta diversos desafíos fitosanitarios que amenazan su productividad y competitividad. Entre estos, el virus de la leprosis de los cítricos (CiLV) destaca por ser una enfermedad de importancia cuarentenaria y una de las patologías virales con mayor impacto en la citricultura (Freitas-Astúa *et al.*, 2018; León *et al.*, 2012). El CiLV es causado por un complejo de virus transmitidos por ácaros del género *Brevipalpus* (Beard *et al.*, 2015; Roy *et al.*, 2015). Esta enfermedad induce la aparición de lesiones localizadas cloróticas o necróticas en hojas, frutos y ramas, donde los ácaros vectores se alimentan. Conforme avanza la infección, las lesiones tienden a expandirse y fusionarse, adquiriendo un aspecto corchoso (Bastianel *et al.*, 2010; León *et al.*, 2006). Entre los daños más relevantes se encuentra la reducción de la calidad de fruto, defoliación, caída prematura de frutos y en casos avanzados, la muerte regresiva de ramas, lo que compromete el rendimiento del árbol (Bastianel *et al.*, 2006; Rodrigues *et al.*, 2003).

A nivel mundial, la presencia de CiLV ha sido confirmada en 16 países, de los cuales 15 se ubican en el continente americano (Postclam *et al.*, 2024). En México, la leprosis se ha convertido en un problema fitosanitario prioritario, con registros en 184 municipios de 13 estados de la república (SENASICA, 2025). El

primer reporte oficial ocurrió en 2004 en el estado de Chiapas, en árboles de naranja; posteriormente en los años siguientes se extendió hacia las regiones de Tabasco y Veracruz. Para 2017, la enfermedad ya se encontraba presente en la mayoría de las regiones citrícolas del país.

Desde una perspectiva epidemiológica, el CiLV presenta una dispersión particular a diferencia de los demás virus, debido a su naturaleza no sistémica en el hospedero. La propagación del patógeno a corta distancia depende principalmente a la presencia y movilidad del vector. Sin embargo, la dispersión a larga distancia está asociado al movimiento de material vegetal infectado, constituyendo un riesgo para la introducción del virus a nuevas áreas geográficas.

1.1. Justificación

La leprosis de los cítricos ha sido reportada en diversos países del continente americano. En México, el avance de esta enfermedad ha generado una creciente preocupación en el sector productivo, especialmente en el estado con amplia tradición citrícola como Veracruz. En los últimos años, la región centro-norte del estado ha mostrado un incremento notable en la incidencia y dispersión de la enfermedad, situación que amenaza la sanidad, productividad y la rentabilidad de los sistemas de producción citrícola. En esta región de Veracruz, donde predominan las plantaciones comerciales de cítricos dulces con el 31% del total, el flujo constante de material vegetal, la ausencia de estudios epidemiológicos limita la capacidad de diagnosticar, prevenir y contener los brotes. Esta falta de información dificulta la implementación de estrategias de manejo integradas, acumulando progresivamente el daño en los huertos citrícolas. Ante este panorama, la presente investigación tiene como objetivo caracterizar molecular y epidemiológicamente la leprosis de los cítricos en la región centro-norte del estado de Veracruz, con la finalidad de determinar el estatus actual de la dispersión de la leprosis, permitiendo identificar los agentes virales presentes en la zona, comprender su distribución espacial y aportar elementos técnicos que fortalezcan los programas de vigilancia fitosanitaria y el rediseño de estrategias de manejo orientadas a reducir el impacto de la enfermedad en la citricultura regional.

1.2. Objetivo General:

Caracterizar molecular y epidemiológicamente la leprosis de los cítricos en el centro-norte del estado de Veracruz.

1.2.1. Objetivos Específicos:

- Identificar molecularmente el tipo de virus asociado a la leprosis de los cítricos presente en tejido vegetal de árboles sintomáticos de la región centro-norte de Veracruz.
- Regionalizar epidemiológicamente las zonas citrícolas de la región centro-norte de Veracruz mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), técnicas geoestadísticas y análisis multivariados
- Caracterizar espacio-temporal la dispersión del CiLV a partir de focos de la enfermedad mediante índices de dispersión y herramientas geoestadísticas

1.4. LITERATURA CITADA

- Bastianel, M., Freitas-Astúa J., Kitajima E.W, & Machado, M.A. (2006). The citrus leprosis pathosystem. *Summa Phytopathology*, 32:211-220. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052006000300001>.
- Bastianel, M., Novelli V.M., Kitajima, E.W., Kubo, K.S., Bassanezi, R., Machado, M.A., & Freitas-Astúa, J. (2010). Citrus Leprosis: Centennial of an unusual mite-virus pathosystem. *Plant Disease*, 94(3), 284-292. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-3-0284>.
- Beard, J. J., Ochoa, R., Braswell, W. E., & Bauchan, G. R. (2015). *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) species complex (Acari: Tenuipalpidae) - A closer look. *Zootaxa*, 3944, 1–67. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3944.1.1>.
- DGSV Dirección General de Sanidad Vegetal. (2025). Primer informe semestral 2025. Campaña de protección fitosanitaria plagas de los cítricos. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1011417/Primer_Informe_Semestral.pdf.
- FAOSTAT. Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura. (2023). Cultivos y productos para la ganadería. Consultado de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
- Freitas-Astúa, J., Ramos-González, P.L., Dias-Arena, G., Tassi, A.D., & Kitajima, E.W. (2018). Brevipalpus-transmitted viruses: parallelism beyond a common vector or convergent evolution of distantly related pathogens?. *Current Opinion in Virology*, 33, 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2018.07.010>.
- León, M., Freitas-Astúa, J., Kitajima, E.W., & Meza, N.C. (2006). Diagnóstico y recomendaciones de manejo para la leprosis de los cítricos. Boletín técnico no. 47. CORPOICA, 24p.
- León, M. (2012). Current status of the Citrus leprosis virus (CiLV-C) and its vector Brevipalpus phoenicis (Geijskes). *Agronomía Colombiana*, 30, 242-250
- Postclam-Barro, M., Rossetto-Pereira, L., Lindo, A.C., Ramos-González, P.L., & Freitas-Astúa, J. (2024). Could ornamentals be the Trojan horse of citrus orchards? Challenges in controlling a mite-transmitted viral complex producing citrus leprosis. *Indian Citriculture*, 2(2), 1-14
- Rodrigues, J.C.V, Kitajima, E.W, Childers, C.C., & Chagas, C.M. (2003). Citrus leprosis virus vectored by Brevipalpus phoenicis (Acari: Tenuipalpidae) on citrus in Brazil. *Experimental and Applied Acarology*, 30, 161-179. <https://doi.org/10.1023/B:APPA.0000006547.76802.6e>.
- Roy, A., Hartung, J.S., Schneider, W.L., Shao, J., León, M., Melzer, M.J., Beard, J.J., Otero-Colina, G., Bauchan, G.R., Ochoa, R., & Bransky, R.H. (2015). Role bending: Complex relationships between viruses, hosts, and vectors

related to Citrus Leprosis, an emerging disease. *The American Phytopathological Society*, 105, 1013-1025.
<https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-14-0375-FI>

SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Consultado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia global de los cítricos

Los cítricos constituyen uno de los grupos frutales más importante a nivel mundial, por su extensa distribución geográfica, valor económico, nutricional y social. Se cultivan en al menos 130 países (Figura 1), en regiones tropicales y subtropicales. Entre las especies de mayor relevancia se encuentra la naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*), limón Persa (*Citrus latifolia*), limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) y el pomelo (*Citrus paradisi*) (FAOSTAT, 2023).

La producción de cítricos ha mostrado un incremento sostenido durante las últimas décadas, la producción global superó los 190 millones de toneladas en 2023, siendo la naranja la especie más cultivada, con aproximadamente el 50% del total. Los principales países productores incluyen a China, Brasil, India, México y Estados Unidos, los cuales en conjunto concentran aproximadamente el 67% de la producción mundial (FAOSTAT, 2023). Este cultivo no solo sustenta economías nacionales, sino que mantiene una alta competitividad en el mercado global debido a la demanda continua para su consumo en fresco y también para procesamiento industrial.

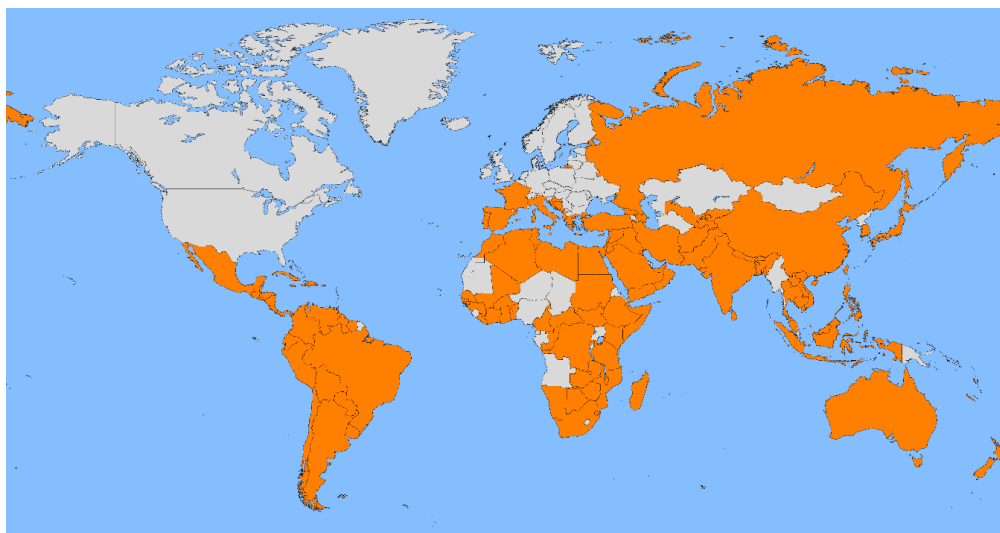


Figura 1. Distribución geográfica de la producción citrícola en el mundo. Fuente: FAO (2023). Mapa generado mediante Mapchart.

2.2. La citricultura en México

México se posiciona entre los principales productores y exportadores de cítricos a nivel mundial, desempeñando un papel importante dentro de la economía agroalimentaria nacional. El cultivo de cítricos se encuentra distribuido en 28 de los 32 estados de la república, con una superficie cultivada de 644, 180 hectáreas, lo que genera una derrama económica estimada en 53,367,442 millones de pesos y representa una fuente de ingresos para alrededor de 75 mil productores (Pérez & Nava, 2021; SIAP, 2024).

La producción citrícola mexicana ha mantenido un crecimiento, impulsado por el aumento en la demanda interna y expansión de los mercados de exportación. En 2024, el país alcanzó una producción de 9,206,202 toneladas de fruta, ubicándose en el cuarto lugar a nivel mundial (SIAP, 2024).

Los principales estados productores son Veracruz, Michoacán, Tamaulipas, Puebla y San Luis Potosí, los cuales en conjunto aportan el 75% de la producción nacional (Figura 2). Entre las especies de cítricos sembradas en México, destaca la naranja, que ocupa el primer lugar en importancia con aproximadamente el 52% de la producción total, le siguen los limones con 36%, toronjas con 5.2% y las mandarinas con 3.4% (SIAP, 2024).

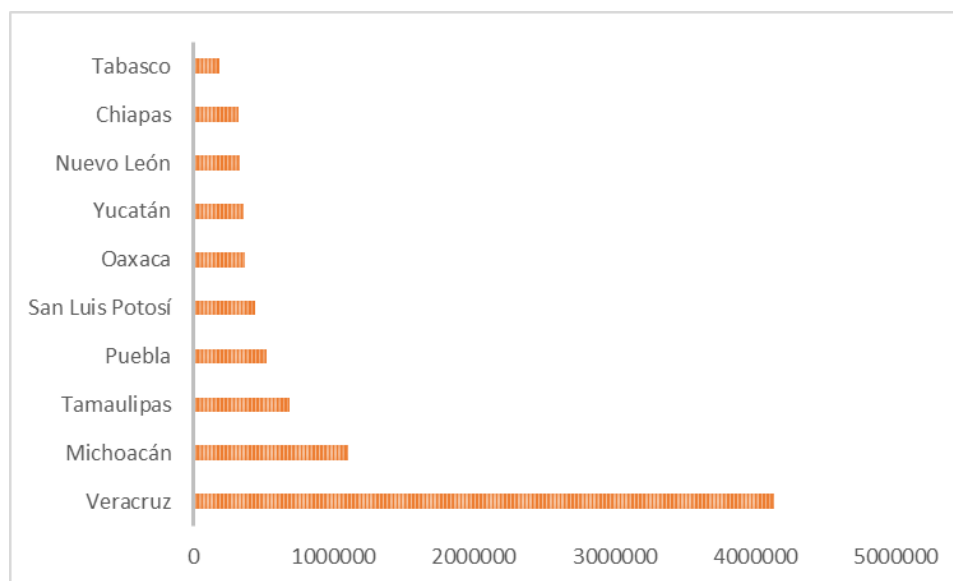


Figura 2. Principales estados productores de cítricos en México.

2.3. Cultivo de naranja en México

El cultivo de naranja constituye una de las actividades agrícolas más relevantes dentro del sector citrícola mexicano. Es el cítrico más cultivado en el país, representando aproximadamente el 55% de la producción nacional, la cual se destina al consumo en fresco, procesamiento industrial (jugos, néctares y concentrados) y exportación a mercados internacionales, principalmente Estados Unidos, Europa y Japón (Pérez & Nava, 2021; SIAP, 2024).

Los principales estados productores de naranja en México son Veracruz, Puebla, Tamaulipas, San Luis Potosí y Nuevo León, los cuales concentran aproximadamente 85% de la producción nacional (Figura 3). Entre ellos, el estado de Veracruz se consolida como el líder nacional, aportando el 51% del total de la producción y contar con una superficie cultivada superior a las 171,000 hectáreas (SIAP, 2024).

Dentro del estado de Veracruz, el cultivo se encuentra establecido en 92 municipios, reflejando la importancia regional de la citricultura. Los municipios con mayor superficie y producción de naranja son Álamo Temapache, Papantla, Tihuatlán, Castillo de Teayo y Chicontepec, localizados principalmente en la región centro-norte del estado (SIAP, 2024).

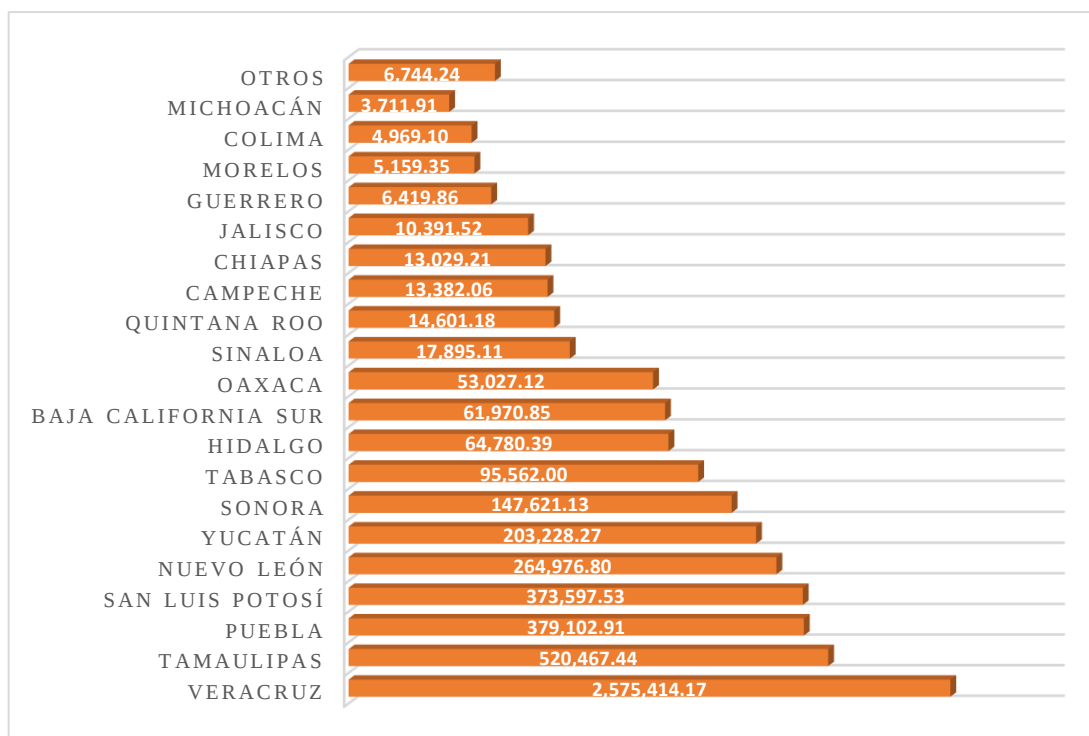


Figura 3. Principales estados productores de naranja en México.

2.4. Leprosis de los cítricos

El virus de la leprosis de los cítricos (CiLV), detectado por primera vez en Estados Unidos alrededor de 1860 (Fawcett, 1911), es considerado una de las enfermedades virales más devastadoras que perjudican a los cítricos en el continente americano (Postclam *et al.*, 2024). CiLV está conformado por cuatro tipos de virus, que son clasificados de acuerdo en el sitio de acumulación de sus partículas virales dentro de las células infectadas como en el citoplasma o núcleo (Freitas-Astúa *et al.*, 2018; ICTV, 2025; Kitajima *et al.*, 2010).

Dentro de los virus tipo citoplasmático se encuentran *Cilevirus leprosis* (CiLV-C) y *Cilevirus colombianese* (CiLV-C2), ambos pertenecen a la familia Kitaviridae, género *Cilevirus* (Locali-Fabris *et al.*, 2006; Roy *et al.*, 2013a). Mientras que, los virus tipo nuclear incluyen *Dichorhavirus leprosis* (CiLV-N) y *Dichorhavirus orchidaceae* (OFV), correspondientes a la familia Rhabdoviridae, género *Dichorhavirus* (Ramos-Gonzalez *et al.*, 2017; Roy *et al.*, 2013b).

2.5. Estatus epidemiológico de CiLV a nivel mundial

Actualmente, el CiLV ha sido reportado en al menos 18 países, con mayor prevalencia en los países de América latina (Postclam *et al.*, 2024). La enfermedad se presentó por primera vez a mediados del año 1860 en regiones citrícolas de Florida, Estados Unidos, ocasionando importantes pérdidas económicas. Sin embargo, años después la enfermedad desapareció en el país (Childers *et al.*, 2003). Posteriormente, a partir de 1920, la enfermedad fue detectada en los principales países citricultores de Sudamérica, en los cuales se estableció y se dispersó ampliamente (Figura 4). En estas regiones ha predominado el CiLV-C, ocasionando severos daños fitosanitarios y pérdidas económicas significativas. Actualmente, se encuentra distribuido en la mayor parte del continente americano, desde México hasta Argentina (Bastianel *et al.*, 2010). CiLV-C2 ha sido identificado únicamente en Colombia, tanto en infecciones simples como en coinfecciones con variantes nucleares (León *et al.*, 2023). El CiLV-N, se ha detectado únicamente en Brasil, principalmente en regiones templadas y de gran altitud (Ramos-González *et al.*, 2017). OFV, está ampliamente distribuido debido a su extenso rango de hospedantes, especialmente las orquídeas e infectando también especies de cítricos en México, Colombia, Hawái y Sudáfrica (Cook *et al.*, 2019; Dietzgen *et al.*, 2018; Olmedo-Velarde *et al.*, 2021).

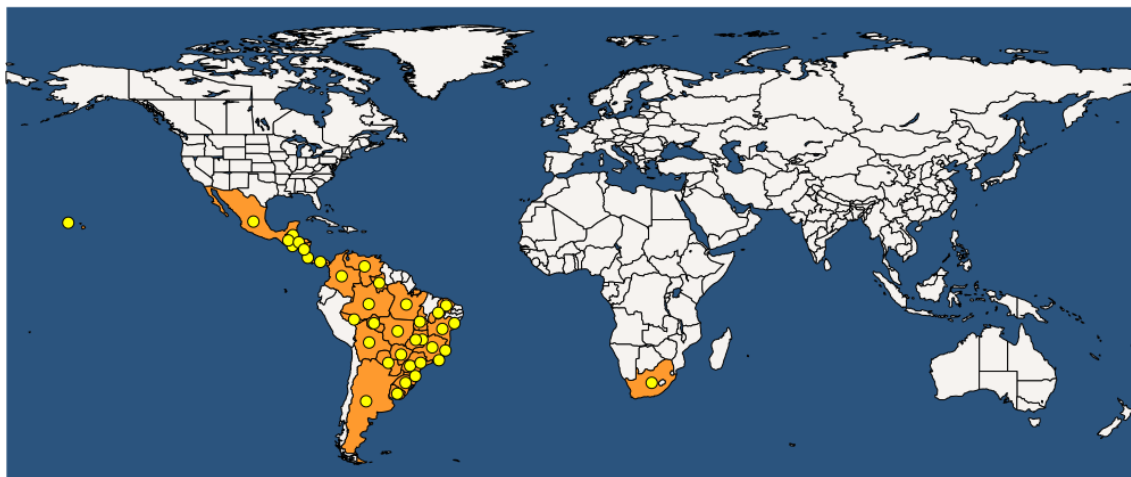


Figura 4. Distribución geográfica de la leprosis de los cítricos a nivel mundial. Fuente (EPPO, 2026).

2.6. Situación actual de CiLV en México

En México la enfermedad fue detectada por primera vez en 2004 en huertos comerciales y de traspatio de naranja en el estado de Chiapas. Posteriormente, en 2006 y 2010, fue confirmada su presencia en los estados vecinos de Tabasco y Veracruz, respectivamente. En los años posteriores, la enfermedad continuó expandiéndose hacia los principales estados productores de cítricos del país (Figura 3) (SENASICA, 2019), incrementando su importancia fitosanitaria a nivel nacional. Al tratarse de una enfermedad de importancia cuarentenaria, las autoridades fitosanitarias han implementado diversas estrategias para mitigar su propagación hacia otras regiones citrícolas del país, priorizando la contención y erradicación de los focos de infestación. A la fecha, la enfermedad se ha documentado en 184 municipios distribuidos en 13 estados (SENASICA, 2025).

En México, CiLV es causado prevalentemente por el CiLV-C, considerado el agente causal de mayor importancia epidemiológica y económica en las principales regiones citricultoras del país (Gómez-Mercado *et al.*, 2019). Asimismo, se han detectado variantes nucleares asociadas al OFV, con una distribución restringida a zonas de gran altitud (Cruz-Jaramillo *et al.*, 2014).

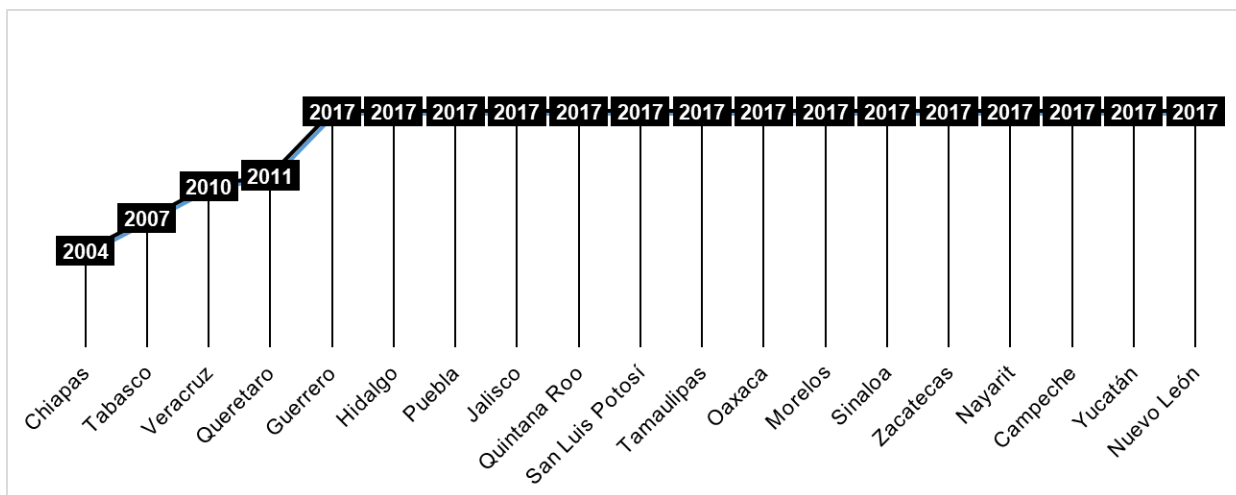


Figura 5. Avance de leprosis de los cítricos en la República mexicana.

2.7. Epidemiología de la Leprosis de los cítricos

La dispersión y establecimiento de la enfermedad, está relacionada con el movimiento de material vegetal, movilidad del vector y condiciones ambientales. A diferencia de otros virus transmitidos por insectos, los virus asociados a la leprosis no transmiten de manera sistémica, sino que permanecen restringidos en tejidos infectados, por lo tanto, la diseminación depende de la actividad de los ácaros del género *Brevipalpus* (Bassanezi *et al.*, 2019; Arena *et al.*, 2016).

La dispersión secundaria ocurre principalmente por el desplazamiento del vector dentro del mismo árbol o hacia arboles vecinos, aunque estos ácaros se movilizan lentamente, pueden existir factores que influyan en la dispersión como el viento, contacto entre ramas y la actividad humana (Bassanezi *et al.*, 2019). Además, el establecimiento del ácaro está influenciado por factores ambientales como temperatura y humedad relativa, que determinan la persistencia en el agroecosistema (Amaral *et al.*, 2018; Castro-Reséndiz *et al.*, 2021). Por otro lado, la dispersión primaria, está asociada con el movimiento a largas distancias de material vegetal infectado que pueden transportar ácaros virulíferos hacia nuevas áreas (SENASICA, 2019).

El proceso de transmisión de los ácaros se considera tipo persistente circulativo, es decir, el virus es adquirido durante alimentación y circula dentro del cuerpo del ácaro sin replicarse, aunque puede permanecer durante gran parte de su vida (Tassi *et al.*, 2017).

2.8. Detección e Identificación

2.8.1. Sintomatología

La leprosis presenta síntomas en hojas, tallos y frutos, que pueden variar según el tipo de virus, la especie hospedante, la duración de los síntomas y los tejidos infectados (Rodrigues *et al.*, 2003). En general, las características de la enfermedad son el resultado de la interacción entre el virus y la planta hospedante, la cual activa mecanismos de defensa como la producción de especies reactivas de oxígeno, activación de rutas de defensa mediadas por

hormonas y, la inducción de muerte celular localizada en los tejidos, lo que constituye una respuesta de hipersensibilidad (Arena *et al.*, 2016;). Los síntomas de la infección aparecen entre 15 y 60 días después de la transmisión por el ácaro vector (León *et al.*, 2006).

Las lesiones foliares se manifiestan superficialmente con formas redondeadas. Inicialmente las lesiones se presentan como manchas cloróticas que con el tiempo evolucionan a lesiones necróticas con una textura lisa o rugosa, en algunos casos, presentan un punto central y círculos concéntricos. Estas lesiones suelen estar rodeadas por un halo amarillo y se presentan en ambas caras de la hoja, aunque son más visibles en el haz. En casos de infección severa las hojas pueden caer prematuramente, provocando defoliación (León *et al.*, 2006).

En las ramas jóvenes, los síntomas comienzan con manchas cloróticas circulares, con el tiempo las manchas se tornan rugosas a lo largo del tallo. A medida que la lesión progresa, la corteza afectada adquiere una apariencia corchosa de color café oscuro, con tendencia a agrietarse o formar costras. La acumulación de lesiones debilita estructuralmente la rama y puede provocar su muerte, como consecuencia de la obstrucción de los haces vasculares (Rodrigues *et al.*, 2003).

En frutos verdes, las lesiones provocadas por la enfermedad comienzan con pequeñas manchas cloróticas superficiales, de forma circular u ovalada. A medida que el fruto madura, presenta lesiones necróticas, de apariencia hundida y rodeadas por un halo clorótico que posteriormente adquiere una tonalidad café obscuro. Este tipo de daño impacta negativamente en el aspecto estético del fruto, reduciendo el valor comercial. Además, los frutos infectados, tienden a madurar de forma más rápida en comparación a los sanos, provocando su caída. Cabe destacar que las lesiones se limitan a la cáscara, sin afectar el estado interno del fruto (León *et al.*, 2006).



Figura 6. Síntomas de leprosis (CiLV-C) en ramas, frutos y hojas de naranja dulce (*Citrus sinensis*) en la región centro-norte del estado de Veracruz. (Fotos del autor).

2.8.2. Metodos de detección e identificación

Aunque la detección basada por sintomatología se detecta fácil visualmente en campo, el diagnóstico del CiLV requiere de herramientas más sensibles y específicas que permitan confirmar la presencia del virus. Entre los métodos de detección utilizados se encuentra la microscopia electrónica de transmisión, utilizada para observar las partículas virales e identificar la localización dentro de las células infectadas, lo que permitió inicialmente diferenciar los virus tipo citoplasmático y nuclear (Kitajima *et al.*, 1972; Kitajima *et al.*, 2010). Las técnicas serológicas realizadas mediante ELISA (Ensayo de Inmunoabsorción Ligado a Enzimas), permiten la detección de virus en tejidos vegetales infectados mediante el reconocimiento específico de proteínas virales por anticuerpos, en el caso de CiLV, se han desarrollado anticuerpos dirigidos contra proteínas estructurales del virus que permitieron mejorar la sensibilidad y confiabilidad de los sistemas del diagnóstico (Choudhary *et al.*, 2014). Las técnicas moleculares basadas en RT-PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa con Transcripción Inversa) representan actualmente el método más utilizado y sensible para la

detección e identificación del virus. Esta técnica permite amplificar regiones específicas del genoma viral a partir del ARN extraído de tejidos vegetales infectados, facilitando la detección precisa del patógeno inclusive a bajas concentraciones virales (Locali-Fabris *et al.*, 2003).

2.9. Regionalización epidemiológica

La regionalización epidemiológica en fitopatología se refiere como un enfoque integrador que permite analizar la dinámica de las enfermedades en áreas amplias, mediante la delimitación de áreas potenciales que favorecen la presencia, establecimiento y dispersión de plagas o patógenos en una región (Contreras, 2022; Hendrichs *et al.*, 2007; Jeger *et al.*, 2000; Madden *et al.*, 2007).

2.9.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Se define por SIG como un conjunto de herramientas que utiliza base de datos geográficos diseñada para capturar, manejar, analizar, modelar y visualizar información geoespacial, permitiendo la representación y el estudio de fenómenos que ocurren en un espacio determinado (Rodríguez, 2012).

Los SIG están compuestos por: 1) Hardware, que constituye a la estructura donde se procesan y almacenan los datos; 2) Software, que proporciona las herramientas para acceder, analizar y sintetizar datos espaciales (Por ejemplo, programas como ArcGIS® y QGIS®); 3) Datos, que constituyen el insumo principal e incluyen la información geográfica y atributos asociados; 4) Usuarios, quienes operan el sistema, interpretan los resultados y los aplican en la toma de decisiones.

La incorporación de SIG en la fitopatología ha sido de gran importancia para los análisis epidemiológicos, permitiendo la integración, análisis y representación espacial de factores que intervienen en la dinámica de las plantas. Mediante el uso de SIG es posible la combinación de variables epidemiológicas asociadas al clima, hospedante, patógeno y vector, lo que permite la identificación de patrones espaciales, interpolaciones y generación de mapas de riesgo a escala regional. Estas herramientas contribuyen a una mejor comprensión de los procesos

epidemiológicos y establecimiento en una región. De esta manera, los SIG fortalecen la toma de decisiones al permitir áreas de monitoreo, optimizar estrategias de manejo y orientar acciones fitosanitarias con un enfoque preventivo y territorial (Jeger, 2004; Mora-Aguilera *et al.*, 2013; Plantegenest *et al.*, 2007; Ristaino *et al.*, 2021).

Un ejemplo del uso de SIG en la agricultura, es el estudio realizado por Domínguez-Monge (2010), quién llevo a cabo un análisis regional realizado en la península de Yucatán sobre *Closterovirus tristezae*, en el cual se regionalizaron las zonas citrícolas con base en registros históricos de detección del patógeno realizadas en relación a los subsistemas epidemiológicos mediante el uso de SIG. Los datos históricos fueron validados y procesados en ArcMap 9.0. e interpolados por el método geoestadístico del inverso de la distancia al cuadrado (IDW). Como resultado, se definieron cuatro zonas con distinto nivel de riesgo epidemiológico, ubicadas en el noroeste y sur de Yucatán, norte de Campeche y sureste de Quintana Roo.

2.9.2. Estadística multivariada

La estadística multivariada constituye un conjunto de métodos analíticos diseñados para analizar simultáneamente múltiples variables, permitiendo identificar patrones y relaciones en fenómenos complejos. En la epidemiología, esta herramienta resulta importante para la integración de variables ambientales, biológicas y de manejo, facilitando la comprensión de los procesos epidemiológicos que determinan la ocurrencia, distribución y severidad de los fenómenos. Adicionalmente, permite sintetizar grandes datos de información y generar indicadores que sirven para la delimitación de zonas con comportamiento epidemiológico homogéneo (Mora-Aguilera & Campbell, 1997)

2.9.2.1. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Esta técnica multivariada es de tipo exploratoria que permite reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos, transformando un conjunto de variables elevado en un conjunto menor de variables, denominados componentes

principales (Jolliffe & Cadima, 2016). Cada componente es una combinación lineal de las variables originales y explica una proporción de la varianza acumulada del sistema, lo que facilita la identificación de las variables más influyentes en la estructura de los datos. El ACP simplifica la estructura de los datos sin perder una cantidad significativa de información, permitiendo identificar patrones, tendencias y relaciones entre variables, facilitando la interpretación de datos complejos (Hair *et al.*, 2010).

En el ámbito de la fitopatología, el ACP es utilizado para la identificación de variables que influyen en sistemas complejos, como la relación entre factores ambientales y la incidencia de enfermedades en cultivos y comprender las relaciones estructurales dentro de sistemas multivariados (Mora-Aguilera *et al.*, 2014).

9.2.2. Análisis de factores

Esta técnica multivariada cuyo propósito es identificar factores que explican las correlaciones observadas entre un conjunto de variables. A diferencia del ACP, que busca maximizar la varianza explicada, el AF se enfoca en modelar la estructura de la varianza mediante factores no observables que representan dimensiones conceptuales del fenómeno estudiado.

En fitopatología, el AF es útil para reconocer variables agrupadas en factores como condiciones ambientales, características del hospedante, presión de vector o de enfermedad, los cuales influyen en la dinámica de las enfermedades. Además, asigna pesos relativos en las variables, lo que facilita la construcción de índices multivariados para evaluar riesgos o niveles de daño (Mora-Aguilera *et al.*, 2022).

2.10. Caracterización espacial de focos

La caracterización espacial en fitopatología constituye un componente para la comprensión, distribución, agregación y dinámica de las enfermedades, ya que permite identificar patrones espaciales relacionados con los procesos de infección, dispersión y establecimiento del patógeno (Hess *et al.*, 2002; Madden

et al., 2007). En el estudio de epidemias, la disposición de plantas enfermas dentro de una unidad de muestreo se define a través de tres patrones de distribución: aleatorio, uniforme y agregado. La identificación de estos patrones es fundamental, ya que proporciona información sobre el mecanismo de dispersión del patógeno o plaga y la influencia de diversos factores en el desarrollo del proceso epidemiológico (Domínguez-Monge *et al.*, 2025; Jeger *et al.*, 2000).

Uno de los métodos más utilizados para determinar la agregación es la relación Varianza/Media (V/M), la cual compara la varianza con la media de los datos observados. Cuando la relación V/M es igual a 1, se asume una distribución aleatoria; valores mayores a 1 indican agregación, mientras que valores menores a 1 sugieren distribución uniforme. Este índice es utilizado por su simplicidad y la capacidad para proporcionar una primera aproximación del patrón espacial de la enfermedad.

El índice de Morisita es una medida más robusta de agregación espacial, considera la densidad de individuos y su distribución entre unidades de muestreo, permitiendo cuantificar el grado de agrupamiento independientemente del tamaño de la muestra, lo que convierte a este índice en una herramienta importante para comparar patrones espaciales entre diferentes escalas o condiciones (Morisita, 1959). Los valores del índice de Morisita mayores a 1 indican agregación, cercanos a 1 distribución aleatoria y menores a 1 distribución uniforme.

El análisis *ordinary runs* sirve para evaluar la aleatoriedad espacial de los datos, principalmente en secuencias binarias (Presencia / ausencia de enfermedad). Este método analiza la secuencia de observaciones para determinar si existe agrupamiento significativo o si la distribución es producto del azar. Este análisis permite detectar patrones no aleatorios asociados a procesos epidemiológicos subyacentes, como la dispersión localizada del patógeno o influencia de factores ambientales.

2.5 Literatura Citada

- Amaral, L., Moraes, G.J., Melville, C.C., & Andrade, D.J. (2018). Factors affecting prevailing population levels of *Brevipalpus yotheri* (Acari: Tenuipalpidae) in citrus areas affected by citrus leprosis in the State of Sao Paulo, Brazil. *Experimental and Applied Acarology*, 74, 395-402. <https://doi.org/10.1007/s10493-018-0239-x>.
- Arena, G. D., Ramos-Gonzalez, P. L., Nunes, M.A., Ribeiro-Alves, M., Camargo, L.E., Kitajima, E.W., Machado, M.A., & Freitas-Astúa, J. (2016). Citrus leprosis virus C infection results in hypersensitive-like response, suppression of the JA/ET plant defense pathway and promotion of the colonization of its mite vector. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1757. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01757>.
- Bassanezi, R.B., Czermainski, A.B.C., Laranjeira, F. F., Moreira, A.S., Ribeiro-Junior, P.J., Krainski, E.T., & Amorim, L. (2019). Spatial patterns of the Citrus leprosis virus and its associated mite vector in systems without intervention. *Plant Pathology*, 68, 85–93. <https://doi.org/10.1111/ppa.12930>.
- Bastianel, M., Novelli, V.M., Kitajima, E.W., Kubo, K.S., Bassanezi, R.B., Machado, M.A., & Freitas-Astúa, J. (2010). Citrus Leprosis: Centennial of an unusual mite-virus pathosystem. *Plant Disease*, 94(3), 284-292. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-3-0284>.
- Castro-Reséndiz, C.A., Otero-Colina, G., Quijano-Carranza, J.A., Martínez-Meyer, E., González-Hernández, H., Cuellar-Zambrano, C., & Soto-Rojas, L. (2021). Potential áreas for the establishment of citrus leprosis virus vectors, *Brevipalpus* spp., in Mexico. *Experimental and Applied Acarology*, 84, 365-388. <https://doi.org/10.1007/s10493-021-00631-5>.
- Childers, C.C., Rodrigues, J.C.V., & Welbourn, W.C. (2003). Host plants of *Brevipalpus californicus*, *B. obovatus*, and *B. phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae) and their potential involvement in the spread of viral diseases vectored by these mites. *Experimental and Applied Acarology*, 30, 29-105. <https://doi.org/10.1023/B:APPA.0000006544.10072.01>.
- Choudhary, N., Roy, A., Govindarajulu, A., Nakhla, M.K., Levy, L., & Brlansky, R.H. (2014). Production of monoclonal antibodies for detection of Citrus leprosis virus C in enzyme-linked inmuno-assays and immunocapture reverse transcription-polymerase chain reaction. *Journal of Virological Methods*, 206, 144-149.

- Contreras, C. (2022). Las regiones fitosanitarias de México y su importancia para la vigilancia epidemiológica. *Revista Inclusiones*, 9, 237-260.
- Cook, G., Kirkman, W., Clase, R., Steyn, C., Basson, E., Fourie, P.H., Moore, S.D., Grout, T.G., Carstens, E., & Hattingh, V. (2019). Orchid fleck virus associated with the first case of citrus leprosis-N in South Africa. *European Journal of Plant Pathology*, 155, 1373-1379, <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01854-4>.
- Cruz-Jaramillo, J.L., Ruiz-Medrano, R., Rojas-Morales, L., López-Buenfil, J.A., Morales-Galván, O., Chavarín-Palacio, C., Ramírez-Pool, J.A., & Xoconostle-Cázares, B. (2014). Characterization of a Proposed Dichorhavirus associated with the Citrus Leprosis disease and analysis of the host response. *Viruses*, 6, 2602-2622.
- DGSV Dirección General de Sanidad Vegetal. (2025). Primer informe semestral 2025. Campaña de protección fitosanitaria plagas de los cítricos. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1011417/Primer_Informe_Semestral.pdf.
- Dietzgen, R.G., Freitas-Astúa, J., Chabi-Jesus, C., Ramos-Gonzalez, P.L., Godin, M.M., Kondo, H., Tassi, A.D., & Kitajima, E.W. (2018). Dichorhavirus in Their Host Plants and Mite Vectors. *Advances in Virus Research*, 102, 119-148. <https://doi.org/10.1016/bs.aivir.2018.06.001>.
- Domínguez-Monge, S., Mora-Aguilera, G., Loeza-Kuk, E., Rivas-Valencia, P., Ruiz, P.G., Acevedo-Sánchez, G., Munguía, R., & Velázquez, T. (2010). Regionalización epidemiológica de la tristeza de los cítricos en la península de Yucatán. In V Reunión Nacional de Innovación Agrícola (pp. 334). Campeche, México.
- Domínguez-Monge, S., Mendoza-García, J.D., Serena-González, A., Cabrera-Hernández, A., Curti-Díaz, S.A., & Flores-Sánchez, J.L. (2025). Symptomatological Characterization and Epidemiological Considerations of Persian Lime Death Syndrome in Commercial Orchards. *American Journal of Plant Sciences*, 16, 982-996.
- FAOSTAT. Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura. (2023). Cultivos y productos para la ganadería. Consultado de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
- Fawcett, H.S. (1911). Scaly bark or nall-head rust of citrus. Bull. *Florida Agricultural Experiment Station*, 3-41

- Freitas-Astúa, J., Ramos-González, P.L., Días-Arena, G., Tassi, A.D., & Kitajima, E.W. (2018). Brevipalpus-transmitted viruses: parallelism beyond a common vector or convergent evolution of distantly related pathogens?. *Current Opinion in Virology*, 33, 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2018.07.010>.
- Gómez-Mercado, R., Santillán-Galicia, M.T., Guzmán-Franco, A.W., Valdovinos-Ponce, G., Becerril-Román, E.A., & Robles-García, P.L. (2019). Spatiotemporal associations between the mite Brevipalpus yotheresi and citrus leprosis virus C in orange orchards. *Experimental and Applied Acarology*, 79, 69-86. <https://doi.org/10.1007/s10493-019-00409-w>.
- Hair, J., Black, W.C., Babin, B.J., & Anderson, R. (2010). Multivariate Data Analysis, Prentice Hall, New York.
- Hendrichs, J., Kenmore, P., Robinson, A.S., & Vreysen, M.J.B. (2007). Area-wide integrate pest management (AW-IPM): Principales Practice and Prospects. In Vreysen, M.J.B., Robinson, A.S., y Hendrichs, J. (Eds). Area-wide control of insects pest (pp. 3-31). *Springer*. Vienna Austria. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6059-5_1
- Hess, G.R., Randolph, S.E., Arneberg, P., Chemini, C., Furlanello, C., Hardwood, J., Roberts, M.G., & Swinton, J. (2002). Spatial aspects of disease dynamics. In Hudson P.J., Rizzoli, A., Grenfell, N.T., Heesterbeek, H., Dobson, A.P. (Eds). The ecology of wildlife disease. Oxford Univeristy Press, 102-118
- ICTV International Committee on Taxonomy of Viruses. Consultado en <https://ictv.global/>
- Jeger, M.J. (2000). Bottlenecks in IPM. *Crop Protection*, 19, 787-792. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00105-8](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00105-8).
- Jeger, M.J. (2004). Analysis of Disease Progress as a Basis for Evaluating Disease Management Practices. *Annual Reviews Phytopathology*, 42, 61-82.
- Jolliffe, I.T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *The Royal Society*, 374, 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Kitajima, E.W., Muller, G.W., Costa, A.S., & Yuki, W. (1972). Short rod-like particles associated with citrus leprosis. *Virology*, 50, 254-258.
- Kitajima, E.W., Rodrigues, J.C.V., & Freitas-Astúa, J. (2010). An annotated list of ornamentals naturally found infected by *Brevipalpus* mite-transmitted

viruses. *Scientia Agricola*, 67(3), 348-371. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000300014>.

León, M., Freitas-Astúa, J., Kitajima, E.W., & Meza, N.C. (2006). Diagnóstico y recomendaciones de manejo para la leprosis de los cítricos. Boletín técnico no. 47. CORPOICA, 24p.

León, M.G, Campos, J.C., Guevara, Y.A., & Roy, A. (2023). Distribución, plantas hospederas y ácaros vectores del virus de la leprosis de los cítricos en Colombia. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7406429>.

Locali-Fabris, E.C., Freitas-Astúa, J., Souza, A.A., Takita, M.A., Astúa-Monge, G., Antonioli-Luizon, Kitajima, E.W., & Machado, M.A. (2003). Development of a molecular tool for the diagnosis of leprosis a major threat to citrus production in the Americas. *Plant Disease*, 87, 1317-1321.

Locali-Fabris, E.C., Freitas-Astúa, J., Souza, A.A., Takita, M.A., Astúa-Monge, G., Antonioli-Luizon, R., Rodrigues, V., Targon, M.L.P.N., & Machado, M.A. (2006). Complete nucleotide sequence, genomic organization and phylogenetic analysis of Citrus leprosis virus cytoplasmic type. *Journal of General Virology*, 87, 2721-2729.

Madden, L., Hughes, G., & Bosch, F.V.D. (2007). Study of Plant Disease Epidemics. American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota. <https://doi.org/10.1094/9780890545058>.

Olmedo-Velarde, A., Roy, A., Padmanabhan, C., Nunziata, S., Nakhla, M.K., & Melzer, M.J. (2021). First report of Orchid Fleck Virus associated with citrus leprosis virus symptoms in Roug Lemon (*Citrus jambhiri*) and Mandarin (*C. reticulata*) the United States. *Plant Disease*, 105 (8), 2258. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-20-2736-PDN>.

Mora-Aguilera, G., & Campbell, C.L. (1997). Multivariate techniques for selection of epidemiological variables. In L. Franci y D.A. Neher (eds). *Exercises in Plant Disease Epidemiology* (pp. 51-58). American Phytopathological Society.

Mora-Aguilera, G., Acevedo-Sánchez, G., Flores-Sánchez, J., Gonzalez-Gomez, & R., Robles-Garcia, P. (2013). Applied Epidemiology to Plant Disease Risk Analyse. In Proceedings IV Brazilian Workshop of Plant Disease Epidemiology (pp. 27-29). Curitiba, Brasil.

Mora-Aguilera, G., Acevedo-Sánchez, G., Flores-Sánchez, J., Hernández, R., Gonzalez-Gómez, R., & Robles-García, P. (2014). Regional Epidemiology:

A new frontier and challenge in plant pathology. In 47° Congresso Brasileiro de Fitopatologia (p. 6). Londrina, Paraná, Brasil.

Mora-Aguilera, G., Acevedo-Sanchez, G., Flores-Sanchez, J., Loeza-Kuk, E., Gutierrez-Espinosa, A., Dominguez-Monge, S., Velazquez-Monreal, J., Santana-Peñaloza, B., & Mungía-Rosales, R. (2022). Comparative epidemiology of Huanglongbing disease in two regional citrus production scenarios in Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology*, 40, 224-243.

Morisita, M. (1959). Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Memory of the Faculty of Science, Kyushu University, Series E*, 2, 215-235.

Pérez-López, O., & Nava-Tablada, M.E. (2021). Evolución de la citricultura mexicana (1993-2018). El caso del municipio de Gutiérrez Zamora, Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola*, 67, 9-25. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2021.67.01>.

Plantegenest, M., Le May, C., & Fabre, F. (2007). Landscape epidemiology of plant diseases. *Journal of the Royal Society*, 4, 963-972. <https://doi.org/10.1098/rsif.2007.1114>

Postclam-Barro, M., Rossetto-Pereira, L., Lindo, A.C., Ramos-Gonzalez, P.L., & Freitas-Astúa, J. (2024). Could ornamentals be the Trojan horse of citrus orchards? Challenges in controlling a mite-transmitted viral complex producing citrus leprosis. *Indian Citriculture*, 2(2), 1-14.

Ramos-Gonzalez, P.L., Chabi-Jesus, C., Guerra-Peraza, O., Tassi, A.D., Kitajima, E.W., Harakava, R., Salaroli, R.B., & Freitas-Astúa, J. (2017). Citrus leprosis virus N: A new dichorhavirus causing citrus leprosis disease. *The American Phytopathological Society*, 107, 963-976. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-17-0042-R>.

Ristaino, J.B., Anderson, P.K., Bebber, D.P., Brauman, K.A., Cunniffe, N.J., Fedoroff, N.V., Finegold, C., Garret, K.A., Giligan, A., Jones, C.M., Martin, M.D., MacDonald, G.K., Neenan, P., Records, A., Schmale, D.G., Tateosian, L., & Wei, Q. (2021). The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. *Perspective*, 118, 1-9 <https://doi.org/10.1073/pnas.2022239118>.

Rodrigues, J.C.V., Kitajima, E.W., Childers, C.C., & Chagas, C.M. (2003). Citrus leprosis virus vectored by *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae) on citrus in Brazil. *Experimental and Applied Acarology*, 30, 161-179. <https://doi.org/10.1023/B:APPA.0000006547.76802.6e>.

- Rodríguez, L.I. (2012). El sistema de Información Geográfica (SIG) como eje articulador del Desarrollo Económico Territorial (DET). *Sociedad, Estado y Territorio*, 2, 95-116.
- Roy, A., Choudhary, N., León, M., Shao, J., Govindarajulu, A., Achor, D., Wei, G., Picton, D.D., Levy, L., Nakhla, M.K., Hartung, J.S., & Brlansky, R.H. (2013a). A novel virus of the genus *Cilevirus* causing symptoms similar to Citrus Leprosis. *Phytopathology*, 103, 488-500. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-12-0177-R>.
- Roy, A., Stone, A., Otero-Colina, G., Wei, G., Choudhary, N., Achor, D., Shao, J., Levy, L., Nakhla, M.K., Hollingsworth, C.R., Hartung, J.S., Schneider, W.L., & Brlansky, R.H. (2013b). Genome Assembly of Citrus Leprosis Virus Nuclear Type Reveals a Close Association with Orchid Fleck Virus. *Genome Announcements*. 1, 1-2. <https://doi.org/10.1128/genomea.00519-13>.
- SENASICA Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2019). Leprosis de los cítricos (Citrus leprosis virus). Ficha técnica No. 35. 21 p.
- SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Consultado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Tassi, A.D., Garita-Salazar, L.C., Amorim, L., Novelli, V., Freitas-Astúa, J., Childers, C., & Kitajima, E.W. (2017). Virus-Vector relationship in the Citrus leprosis pathosystem. *Experimental and Applied Acarology*, 71, 227-241. <https://doi.org/10.1007/s10493-017-0123-0>.

CAPÍTULO 3. REGIONALIZACIÓN Y RIESGO DE DISPERSIÓN Y ESTABLECIMIENTO DEL CiLV EN LA ZONA CENTRO-NORTE DE VERACRUZ

Resumen

El virus de la leprosis de los cítricos (CiLV) representa una amenaza fitosanitaria de importancia cuarentenaria en México, debido a su capacidad de dispersión y su impacto potencial en la producción citrícola. El objetivo de este estudio fue regionalizar epidemiológicamente la zona centro-norte de Veracruz en base del riesgo de dispersión y establecimiento del CiLV, mediante un enfoque integrado que combinó sistemas de información geográfica (SIG) y métodos geoestadísticos y multivariados. Se analizaron registros históricos de 2017-2023, los cuáles fueron validados en primavera-verano de 2025. El riesgo se evaluó mediante un método ponderativo basado en los subsistemas hospedante y enfermedad, así como a través de la integración de un índice multivariado utilizando análisis de componentes principales (ACP) y análisis de factores (AF). Los resultados evidenciaron una distribución heterogénea de la enfermedad, con focos activos en la zona centro, en los municipios de Misantla, Martínez de la Torre y Tlapacoyan, donde se concentra la mayor inductividad epidemiológica. En contraste, en la zona norte los focos históricos han sido erradicados, lo que sugiere una interrupción del sistema epidemiológico; sin embargo, esta región presenta alto riesgo de establecimiento debido a la amplia superficie citrícola, la predominancia de especies susceptibles (naranja) y la presencia del vector. El ACP y AF identificaron a la temperatura, la humedad relativa, la precipitación, la incidencia y la infestación de vector como variables determinantes del sistema epidemiológico. Asimismo, el análisis de conglomerados permitió diferenciar cuatro grupos de huertos con características epidemiológicas contrastantes, evidenciando escenarios que van desde alta incidencia con fuentes activas de inóculo hasta zonas sin presencia de la enfermedad, pero con riesgo latente. En conjunto, los resultados confirman que la presencia del CiLV está determinado por la interacción entre factores ambientales, la dinámica del vector y la disponibilidad de inóculo, proporcionando bases técnicas para la delimitación de zonas de riesgo y la implementación de estrategias fitosanitarias orientadas a la contención y prevención de la enfermedad en áreas actualmente libres. Este estudio demuestra que es posible regionalizar la zona citrícola centro-norte del estado de Veracruz en función de la capacidad de dispersión y establecimiento del CiLV mediante el uso integrado de herramientas geoestadísticas, métodos multivariados y SIG aplicados a datos de detección generados por la campaña contra el CiLV, con potencial de aplicación en otras entidades federativas para optimizar estrategias de detección, erradicación y contención.

3.1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el estudio y manejo de las enfermedades de las plantas ha evolucionado desde enfoques centrados en áreas a nivel parcelario hacia esquemas de análisis regionales o de áreas amplias (Hendrichs *et al.*, 2007). La regionalización epidemiológica se orienta en la comprensión y manejo de las enfermedades en escalas territoriales mayores, estudiando el proceso epidemiológico en unidades productivas, considerando procesos de dispersión, establecimiento y supervivencia del patógeno (Madden *et al.*, 2007; Mora-Aguilera *et al.*, 2013, 2014). Un proceso epidemiológico por naturaleza es multivariado para la comprensión y caracterización del desarrollo de una epidemia (Forbes *et al.*, 2009; Mora-Aguilera & Campbell, 1997). Este enfoque implica el uso de variables relacionadas a los distintos componentes del sistema epidemiológico, así como el empleo de sistemas de información geográfica (SIG), como QGIS, para la generación de mapas de riesgo y la identificación de áreas potenciales de propagación de la enfermedad (Ristaino *et al.*, 2021).

En México, el virus de la leprosis de los cítricos (CiLV) es considerada una enfermedad de importancia cuarentenaria, debido a su potencial impacto económico y su alta capacidad de dispersión hacia nuevas regiones citrícolas del país (Castro-Reséndiz *et al.*, 2021). Su manejo, requiere de implementación de estrategias basadas en la prevención y la mitigación, que incluyan la evaluación del riesgo de entrada, establecimiento y dispersión del patógeno. En este sentido, la identificación de áreas con condiciones favorables para el establecimiento del CiLV constituye un componente importante dentro de los procesos de evaluación de riesgo epidemiológico. Esta identificación puede lograrse mediante la comparación entre sitios donde la enfermedad ya está presente y aquellos donde aún no se ha detectado, lo que permite reconocer patrones asociados a su ocurrencia y dispersión.

Con base en lo anterior, se propuso realizar un estudio epidemiológico para regionalizar la zona citrícola centro-norte de Veracruz con respecto a la capacidad de dispersión y establecimiento del CiLV mediante uso de sistemas de

información geográfica y métodos estadísticos multivariados (Domínguez-Monge *et al.*, 2010) aplicados a datos de detección generados por personal de la Campaña contra el CiLV con el fin de determinar zonas riesgo de dispersión de la enfermedad. Lo anterior permitirá planificar acciones de manejo de la enfermedad.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Detecciones del CiLV en Veracruz

En Veracruz, desde el año 2010 se iniciaron trabajos de muestreo, con énfasis en la detección de la enfermedad y control de focos de infestación, consistente en el control químico del ácaro vector del virus que ocasiona el CiLV, así como la poda y/o eliminación de las plantas afectadas (SENASICA, 2020).

En la zona centro-norte del estado, durante 2017 se detectaron focos de la enfermedad en los municipios de Misantla, Papantla, Cazones de Herrera y Tihuatlán, lo que sugirió la presencia de un riesgo epidémico por CiLV (SENASICA, 2017) (Figura 7). Este riesgo fue evaluado y validado mediante muestreos in situ realizados en el periodo primavera-verano de 2025, con el objetivo de corroborar la información histórica de árboles positivos en la región.

Para ello, se empleó la base de datos georreferenciada proporcionada por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Veracruz (CESAVE Veracruz). A partir de esta información, los registros de árboles positivos de CiLV en la zona centro-norte fueron analizados e interpolados espacialmente mediante el uso del software Google Earth® y QGIS®, permitiendo identificar patrones de distribución y áreas de mayor riesgo epidemiológico.



Figura 7. Detecciones de CiLV, causada por *Cilevirus leprosis* en planta, en los municipios de la zona centro-norte. Reporte oficial de detecciones: 2017 (Mapas generados con información de SENASICA).

3.2.2. Riesgo de dispersión con base en método ponderativo

La determinación del nivel de riesgo del CiLV por municipio utilizó valores del subsistema hospedante y enfermedad. Con lo anterior, se integró una matriz de variables de inductividad epidémica del sistema epidemiológico con valores e índices ponderados. *Subsistema hospedante*: superficie citrícola por especie y por municipio de la zona centro-norte y susceptibilidad relativa a *Cilevirus leprosis* (CiLV-C) de especies citrícolas: naranja dulce=3; mandarina=2 y limón Persa y toronja= 1. Del *subsistema enfermedad*: cercanía con focos de infección (municipio con presencia de CiLV-C=4; municipio contiguo a un municipio con CiLV-C=3; Municipio a distancia intermedia=2 y municipio alejado=1).

La estimación del nivel de riesgo por municipio se realizó siguiendo la metodología de Mora-Aguilera *et al.* (2023) y mediante las siguientes ecuaciones (Figura 8):

Ecuación 1

$$Nivel_{riesgo} = Sup_{citri} * Ind_{sucep} * Presión_{inoc}$$

Dónde:

$Nivel_{riesgo}$ = Nivel de riesgo por municipio.

Sup_{citri} = Superficie citrícola por municipio.

Ind_{sucep} = Susceptibilidad relativa de especies citrícolas a *Cilevirus leprosis*

Ecuación 2

$$Indice_{sucep} = \left[\sum_{i=1}^n (SupCitri_i * PondSuscep_i) \right] / SupCitri_{total}$$

Dónde:

Ind_{sucep} = Susceptibilidad relativa de especies citrícolas a *Cilevirus leprosis*.

$SupCitri$ = Superficie sembrada por especie.

$PondSuscep$ = Valor ponderado de la susceptibilidad de especies citrícolas a *Cilevirus leprosis*. Naranja dulce= 3, mandarina= 2 y limón Persa y toronja= 1.

$SupCitri_{total}$ = Total de superficie citrícola sembrada por región.

Ecuación 3

$$Presión_{inoc} = Cercanía_{foco}$$

Dónde:

$Presión_{inoc}$ = Indicador del nivel de daño en planta.

$Cercanía_{foco}$ = Indicador del riesgo por cercanía de zonas con CiLV-C. Zona con presencia= 4, zona contigua a una con presencia de CiLV-C= 3, zona intermedia a una con presencia de CiLV-C= 2 y zona distante a una con presencia de CiLV-C= 1.

Con los niveles de riesgo definidos en la zona centro-norte del estado, se estimó el número de sitios de muestreo por municipio. Esta estimación se realizó siguiendo la metodología de Ceja-Torre *et al.*, (2003) y Domínguez-Monge *et al.*, (2010) mediante la siguiente ecuación (Figura 8):

Ecuación 4

$$No_{sitios} = [(LogFact_{Pond} / \sum LongFact_{Pond}) * N]$$

Dónde:

No_{sitios} = Número de sitios a evaluar por municipio.

$LongFact_{Pond}$ = Logaritmo del producto de las variables de ponderación.

N = Número de sitios que operativamente son factibles realizar.

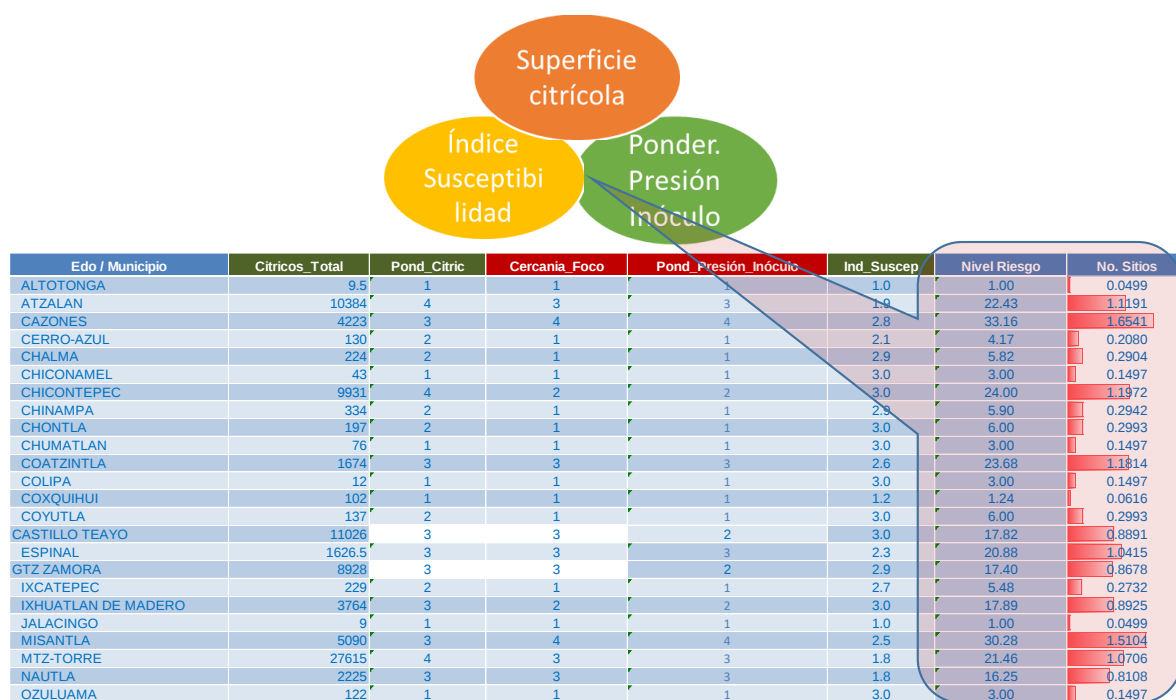


Figura 8. Diagrama metodológico para la determinación del nivel de riesgo y para la selección del número de sitios de muestreo mediante el método ponderativo basado en los subsistemas hospedante y enfermedad.

3.2.3. Riesgo de dispersión a través de un índice multivariado

El índice multivariado se generó mediante técnicas estadísticas basadas en la descomposición de varianzas relativas, utilizando análisis de componentes principales (PROC PRINCOMP) y análisis de factores (PROC FACTOR). Estos métodos permitieron asignar pesos relativos a las variables consideradas e identificar aquellas con mayor contribución a la inductividad de la enfermedad, utilizando el programa SAS® OnDemand for Academics (Mora-Aguilera *et al.*, 1997).

El índice se calculó cuando la varianza total explicada fue igual o superior al 70% (Jolliffe, 1986), considerando dos o tres componentes principales, en función de la varianza asociada a cada componente y de los pesos relativos derivados de los valores propios (eigenvectors) (Mora-Aguilera *et al.*, 1996).

Este índice multivariado permitió sintetizar un conjunto de variables, proporcionando mayor consistencia estadística y epidemiológica para representar la inductividad de la enfermedad a nivel regional.

Con base en esta descripción se propuso el siguiente modelo de índice multivariado (Domínguez-Monge *et al.*, 2011):

Ecuación 5

$$Indice_{multi} = (nCp) + P_{1-n} \lambda i$$

Dónde:

$Indice_{multi}$ = Índice multivariado absoluto

nCp = Número de componentes principales con una varianza acumulada $\geq 70\%$.

P_{1-n} = n -parámetros asociados al eigenvector- i .

λi = Eigenvalue asociado al eigenvector- i .

Las variables evaluadas en las huertas seleccionadas considerando variables de los subsistemas del sistema epidemiológico, se incluyen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Matriz multivariada de 12 huertos seleccionados considerando variable de los subsistemas del sistema epidemiológico.

Mpio	Loc	Edad	Esp	Pat	DP	Pr	Vig	MAG	MFit	NPI	HR	P	T°	Inc	IVec
Chicon-tepec	Chicon-tepec	1	3	2	2	2	1	3	1	2	79	0.1	20.6	0	3.2
Álamo	Horcones	2	3	2	2	2	2	3	1	2	79	0	22.7	0	3
Álamo	La Victoria	2	3	3	2	2	1	3	1	2	79	0	22.7	0	1.25
Mtz de la Torre	Loma de las flores	1	3	2	3	2	1	3	1	2	83	2.57	19.5	6.31	2.3
Misantla	Coapeche	1	3	2	3	2	1	3	1	2	83	2.5	19.5	0	1.2
Misantla	Coapeche	2	3	2	3	2	1	3	1	2	83	2.57	19.5	88.67	4
Atzalán	Novara	2	3	2	2	2	1	3	1	2	83	2.58	19.5	72.61	1
Papantla	El Cedral	2	3	2	1	2	1	3	2	2	84	0.26	22.2	100	2.4
Coxquihui	Coxquihui	1	3	2	2	2	1	3	1	2	81	0.14	20.7	28.88	0.25
Espinal	Espinal	2	3	2	2	2	1	3	1	2	80	0.4	17.8	5.15	1.5
Papantla	El Edén	2	3	2	2	2	1	3	1	2	86	1.67	21.6	7.21	1.2
Mtz de la Torre	Arroyo del Potrero	1	3	2	4	2	1	3	3	2	76	0.27	20.9	97.6	0.6

Edad: (años), 1= 1-15, 2=16->30; **Esp:** Especie, 1=Limón, 2=Mandarina/Toronja, 3= Naranja dulce; **Pat:** Patrón, 1=Volka/Swingle, 2=Agrio; **D.P:** Densidad de plantación, 1=50-64, 2= 36-49, 3= 22-35, 4=9-21; **Pr:** Productividad, 1=baja, 2=Moderada; **Vig:** Vigor, 1=Bueno, 2=Malo; **MAG:** Manejo agronómico, 1=Tecnificado, 2=Moderado, 3=Tradicional; **MFit:** Manejo fitosanitario, 1=Químico, 2=Biológico, 3=Ninguno; **NPI:** Número de plagas, 1= 1-3, 2= 4-8; **HR:** Humedad relativa; **P:** Precipitación; **T°:** Temperatura (°); **Inc:** Incidencia (%); **I.Vec:** Infestación de vector

Las variables identificadas como más inductivas se utilizaron posteriormente en un análisis de conglomerados, empleando datos estandarizadas mediante el procedimiento PROC CLUSTER con el método average.

3.2.4 Muestreo transeccional de CiLV

Los muestreos se realizaron en huertas citrícolas de la zona centro-norte del estado con antecedentes de la enfermedad, priorizando aquellas con presencia de focos y áreas aledañas consideradas de riesgo. El número de sitios por transecto se determinó con base en criterios de riesgo (Mora-Aguilera *et al.*, 2023) (Figura 8). En total, se muestrearon y caracterizaron 12 sitios, con el

propósito de evaluar la presencia, distribución y condiciones asociadas a la enfermedad (Figura 9).



Figura 9. Sitios de muestreo para caracterización del CiLV en cítricos en la zona centro-norte de Veracruz.

En cada sitio se evaluarán árboles seleccionados de manera sistemática, registrando la presencia de síntomas asociados al CiLV (lesiones cloróticas y necróticas en hojas, ramas y frutos), así como la incidencia del ácaro.

El muestreo se realizó mediante el método en “T”, ampliamente utilizado en huertas comerciales de cítricos y descrito en el manual operativo de SENASICA (2024). En cada sitio se muestrearon un total de 24 árboles, seleccionando uno de cada dos de manera sistemática. El muestreo inició en las orillas, colindantes con caminos o carreteras, donde se evaluaron 12 árboles ubicados en el borde

de la huerta. A partir de los árboles 5 y 6 se estableció un doble transecto hacia el interior, en el cual se muestrearon los 12 árboles restantes (Figura 10).

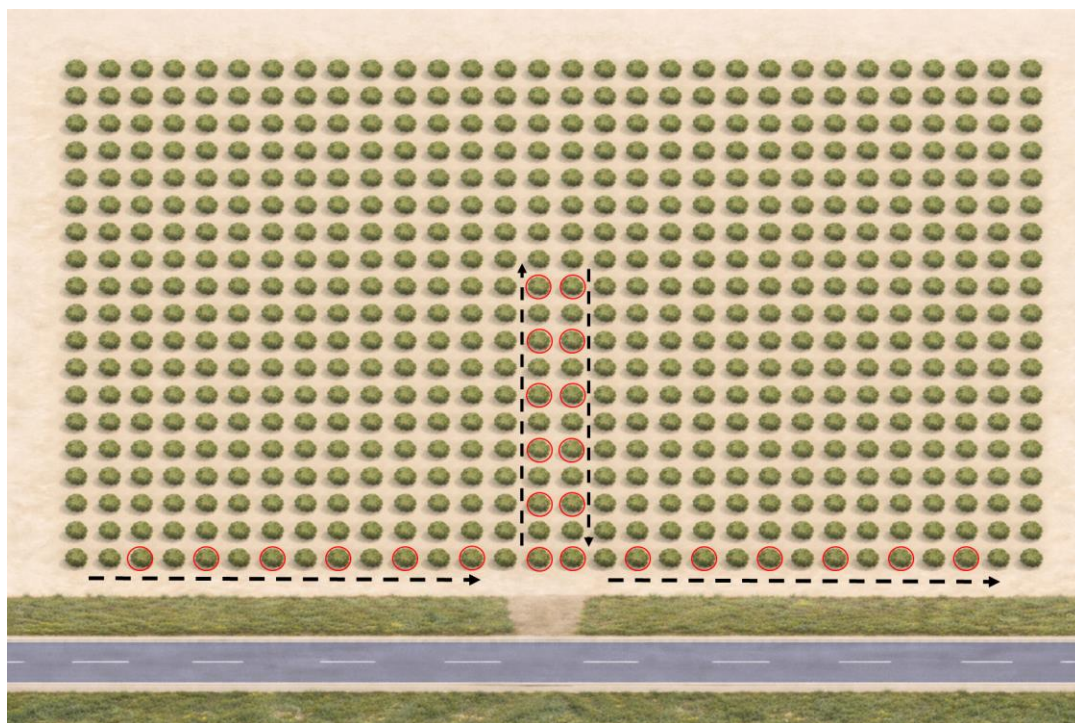


Figura 10. Muestreo en método en “T” para la caracterización del CiLV en cítricos.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Análisis de detecciones del CiLV en la zona centro-norte de Veracruz

El análisis de las detecciones históricas de CiLV evidenció que, desde los primeros reportes en 2010 en el sur del Veracruz (zona endémica) (SENASICA, 2017), la enfermedad ha mantenido una presencia focalizada en la zona centro-norte del estado, a pesar de las estrategias de manejo implementadas. Los registros correspondientes del 2017 al 2023 por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal del estado (SENASICA, 2023), confirmaron la ocurrencia de focos en los municipios de Misantla, Papantla, Cazones de Herrera, Tihuatlán, Tlapacoyan y Martínez de la Torre consolidando estas áreas como fuentes potenciales de virus (Figura 11).

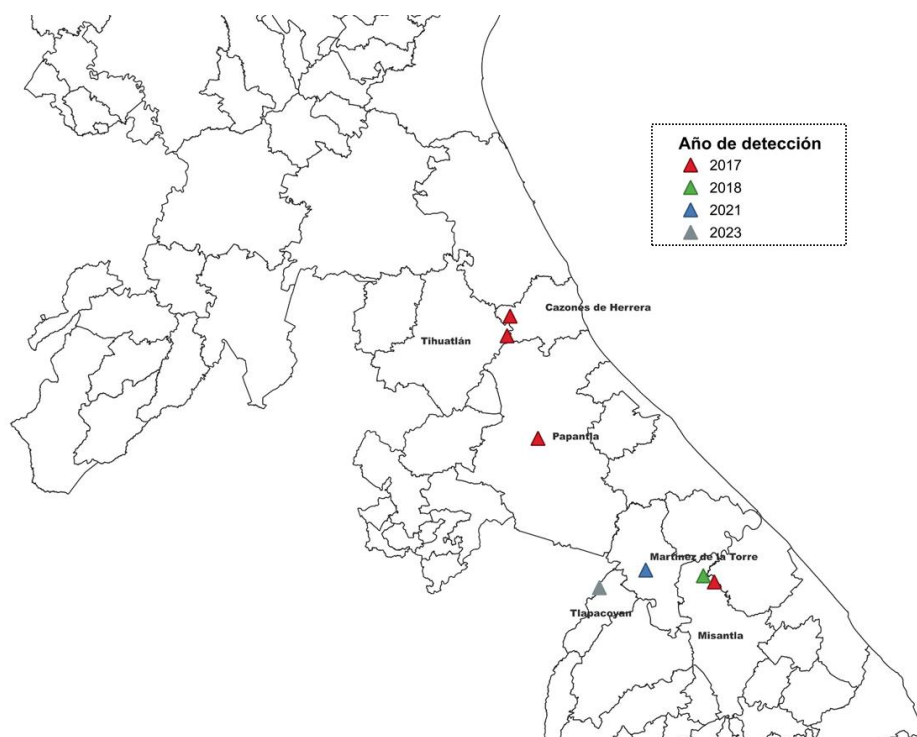


Figura 11. Detecciones históricas de leprosis, causada por *Cilevirus leprosis* en la zona centro-norte de Veracruz. Reporte oficial de detecciones 2017-2023 (Mapa generado con información de SENASICA).

La validación en campo realizada durante el periodo primavera-verano de 2025 corroboró la persistencia de la enfermedad en dicha zona, observándose coincidencia espacial entre los registros históricos de detección y los sitios con presencia actual de focos. Asimismo, se identificaron áreas aledañas con evidencia de dispersión (por ejemplo, Martínez de la Torre), lo que sugiere un proceso activo de expansión de la enfermedad.

El análisis espacial mediante Google Earth® permitió visualizar una distribución heterogénea del CiLV, con focos activos en los municipios de la zona centro (Misantla, Martínez de la Torre y Tlapacoyan) (Figura 12). Estos resultados evidencian la existencia de zonas con mayor riesgo epidemiológico, caracterizadas por la acumulación de casos históricos y su continuidad en el tiempo, lo que confirma la tendencia de establecimiento y dispersión de la enfermedad en la región centro-norte de Veracruz.



Figura 12. Identificación y delimitación de focos activos de leprosis, causada por *Cilevirus leprosis* en la zona centro-norte de Veracruz. Reporte oficial de detecciones 2017-2023 (Mapa generado con información de SENASICA).

3.3.2. Riesgo de dispersión con base en método ponderativo

Mediante el análisis geoestadístico del subsistema asociado a la enfermedad, utilizando los reportes históricos de positivos del periodo 2017-2023 (SENASICA, 2023), se generó un mapa interpolado a nivel de la zona centro-norte. Este análisis permitió identificar dos focos principales de enfermedad, uno en la zona centro y otro en la zona norte del estado.

En el foco localizado en la zona norte, los niveles de enfermedad mostraron una clara direccionalidad hacia el noreste, abarcando principalmente los municipios de Tihuatlán y Papantla, donde se registraron los primeros brotes en 2017 (SENASICA, 2017). Por su parte, el foco de la zona centro también presentó una tendencia direccional definida, concentrando mayores niveles de enfermedad en los municipios de Misantla, Martínez de la Torre y Tlapacoyan, en concordancia

con los reportes de brotes registrados entre 2017 al 2023 (SENSASICA, 2023) (Figura 13).

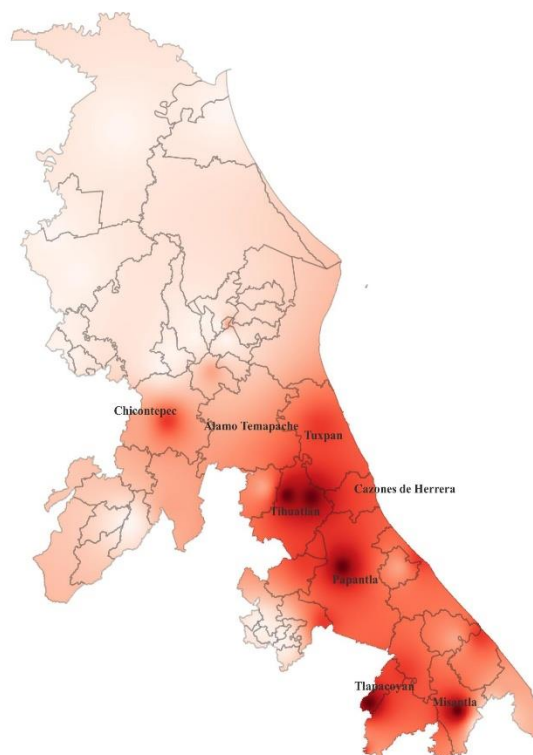


Figura 13. Mapa interpolado de positivos históricos (2017-2023) de CiLV en la región centro-norte de Veracruz.

Para evaluar el riesgo de establecimiento y dispersión del CiLV, se realizó un análisis geoestadístico a partir de los valores obtenidos con el *Nivel de Riesgo* (Figura 8). La interpolación permitió identificar dos focos principales de riesgo, ambos localizados en la zona norte del estado.

El primero abarcó, con mayor intensidad, los municipios de Papantla, Tihuatlán, Cazon de Herrera, Tuxpan y Álamo Temapáche. El segundo foco se concentró principalmente el municipio de Chicontepec. En estos municipios, el nivel de riesgo se clasifica como alto, debido principalmente a la amplia superficie citrícola reportada (91, 911 ha), así como a un elevado potencial de desarrollo epidémico. Esto último se asocia a que la especie predominante es la naranja dulce,

altamente susceptible al CiLV-C (Bastianel *et al.*, 2010; Nunes *et al.*, 2013; Santillán-Galicia *et al.*, 2022). Adicionalmente, la presencia del ácaro vector en la zona, el cual tiene capacidad de adquirir y transmitir eficientemente al virus (Gómez-Mercado *et al.*, 2019; Tassi *et al.*, 2017) (Figura 14).

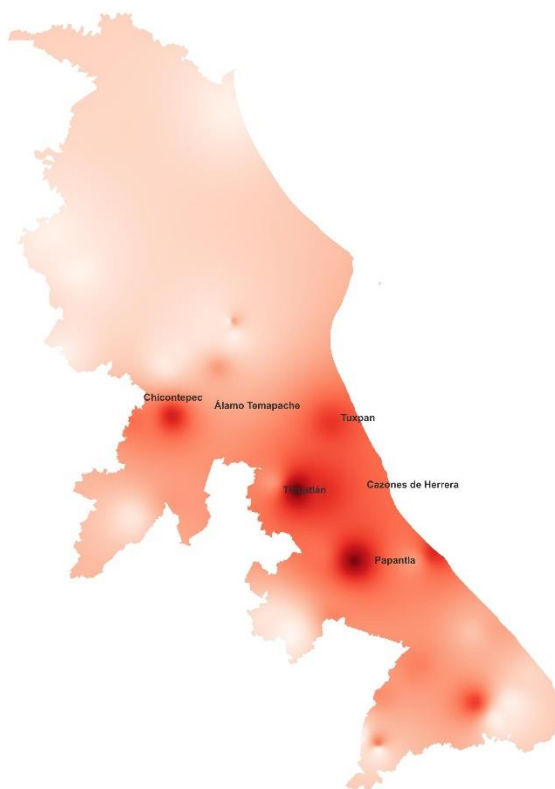


Figura 14. Interpolación de niveles de riesgo de establecimiento y dispersión del CiLV en la zona centro-norte de Veracruz.

3.3.3. Riesgo de dispersión a través de un índice multivariado

3.3.3.1. Análisis de componentes principales

La aplicación del índice permitió integrar y sintetizar las variables asociadas al riesgo de dispersión del CiLV en la zona de estudio, obteniéndose una varianza total explicada superior al 70% mediante la selección de cuatro componentes principales. Esto indicó una adecuada representación de la variabilidad del sistema epidemiológico y validó la consistencia del modelo propuesto.

La selección de variables mediante el análisis de componentes principales (ACP) permitió identificar cuatro componentes principales (CP) (Cuadro 2), los cuales explicaron el 77% de la variabilidad del fenómeno de estudio. Este nivel de varianza acumulada, sustentado en valores propios ≥ 1.33 , indica una adecuada representación de la estructura multivariada de los datos, lo que sugiere que los componentes retenidos concentran la mayor parte de la información relevante. En este contexto, el ACP permitió discriminar las variables con mayor contribución al sistema epidemiológico, facilitando la interpretación de los factores asociados a la inductividad de la enfermedad. Estos resultados enfatizan el papel del ambiente como regulador del proceso epidemiológico, en concordancia con lo señalado por Madden *et al.* (2007) e Islam *et al* (2020), quienes destacan la influencia de los factores ambientales en la dinámica de las enfermedades de las plantas.

Cuadro 2. Selección de los componentes principales (PC) con base a los valores propios y la varianza acumulada, a partir de 12 huertas georreferenciadas durante 2025-2026 en la zona centro-norte de Veracruz.

Componente principal	Valor propio	Diferencia	Proporción	Acumulada
1	2.54	0.19	0.25	0.25
2	2.35	0.81	0.23	0.48
3	1.53	0.19	0.15	0.64
4	1.33	0.51	0.13	0.77

Con base a los componentes principales mayores se seleccionaron cuatro variables, temperatura, humedad relativa, incidencia e infestación del vector (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables de mayor influencia para determinar enfermedad considerando los componentes principales mayores de 12 huertas georreferenciadas durante 2025-2026 en la zona centro-norte de Veracruz.

Variable	¹ CP's mayores			
	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4
Edad (años)	0.27	0.32	0.40	-0.15
Especie	0.00	0.00	0.00	0.00
Patrón	0.34	-0.04	-0.23	-0.45
Densidad de plantación	-0.35	-0.34	-0.16	0.24
Producción	0.00	0.00	0.00	0.00
Vigor	0.36	0.05	0.03	0.58
Manejo agronómico	0.00	0.00	0.00	0.00
Manejo Fitosanitario	-.05	-.54	0.38	-.04
No. de plagas	0.00	0.00	0.00	0.00
Humedad relativa (%)	-.20	0.49 ¹	0.21	-.22
Precipitación (mm)	-.46	0.31	0.03	0.01
Temperatura (°C)	0.48 ¹	-.11	0.17	-.07
% Incidencia	-.18	-.22	0.67 ¹	-.10
Infestación vector	0.07	0.25	0.24	0.53 ¹

¹Componentes mayores (CP1 a CP-2).

3.3.3.2. Análisis de factores

La selección de variables mediante el análisis de factores (AF) identificó como determinantes el manejo fitosanitario, la precipitación, incidencia y la infestación del vector (Cuadro 4). Estas variables presentan un sólido sustento biológico, ya que la incidencia de la enfermedad está estrechamente determinada por la dinámica poblacional del vector. Lo anterior se explica por la naturaleza del CiLV, al tratarse de una enfermedad localizada depende directamente del ácaro vector para su establecimiento y dispersión (Bassanezi *et al.*, 2019; Rodrigues *et al.*, 2003). En este sentido, la presencia del ácaro vector está condicionada por factores ambientales como la precipitación. Condiciones de baja precipitación favorecen el incremento de sus poblaciones, mientras que periodos de alta precipitación tienden a limitarlas, lo que afecta en su capacidad de establecimiento y propagación (Amaral *et al.*, 2018; Gómez-Mercado *et al.*, 2019).

Cuadro 4. Selección de variables con base al análisis de factores rotados para 12 huertas georreferenciadas durante 2025-2026 en la zona centro-norte de Veracruz.

Variable	Factores rotados			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Edad	-0.00	-.70	0.14	0.37
Especie	0.00	0.00	0.00	0.00
Patrón	-.23	-.04	-0.16	-0.13
Densidad de plantación	0.29	0.88 ¹	0.21	0.04
Producción	0.00	0.00	0.00	0.00
Vigor	-0.54	-0.03	-0.23	0.66
Manejo Agronómico	0.00	0.00	0.00	0.00
Manejo Fitosanitario	-0.33	0.32	0.82 ¹	-0.19
Numero de plagas	0.00	0.00	0.00	0.00
Humedad relativa	0.63	-0.65	-0.06	-0.02
Precipitación	0.92 ¹	0.02	-0.00	0.12
Temperatura	-0.68	-0.28	0.12	0.14
Incidencia	0.12	-0.07	0.95 ¹	0.02
Infestación de vector	0.12	-0.08	-0.00	0.86 ¹

En conjunto, con base a los resultados del análisis de componentes principales (ACP) y del análisis de factores (AF), las variables finalmente seleccionadas fueron temperatura, humedad relativa, manejo fitosanitario, precipitación, incidencia e infestación del vector, las cuales integran los principales factores que estructuran la dinámica del sistema epidemiológico.

3.3.3.4. Interpolación del índice multivariado

El mapa de interpolación generado a partir del índice multivariado a nivel centro-norte (Figura 15) mostró una mayor inductividad en la zona centro, en los municipios de Martínez de la Torre, Misantla, Tlapacoyan y Atzalán, Esta área, debido a condiciones ambientales favorables permite un establecimiento y desarrollo potencial del CiLV. Según lo reportado por Bassanezi (2018) y Rodrigues et al. (2001), señalan que al presentarse una fuente de inóculo y condiciones ambientales favorables facilitan a la persistencia del inóculo a largo plazo.

Hacia la zona norte y noroeste, se observa una disminución gradual en la inductividad epidémica. Este comportamiento sugiere que, aunque el hospedante y el vector están ampliamente distribuidos en la zona, la intensidad del proceso epidemiológico se ve disminuido por condiciones ambientales menos favorables y a la ausencia o escasa presencia de fuente de inóculo en esta zona. En este sentido, factores como temperatura, humedad relativa y precipitación son determinantes para que el ácaro vector pueda sobrevivir, reproducirse y transmitir el virus de manera eficiente. Por lo tanto, al no existir una fuente de inóculo en el tejido vegetal impide que el vector inicié nuevos procesos de infección (Amaral *et al.*, 2018; León *et al.*, 2023; Rodrigues *et al.*, 2003).

Este patrón es congruente con los resultados del ACP y AF, en las cuales las variables ambientales (Temperatura, humedad relativa, precipitación) y la infestación del vector, mostraron gran influencia en la variabilidad del sistema. Por lo tanto, la distribución espacial del riesgo de dispersión del CiLV está determinado por la interacción de factores ambientales y biológicos.

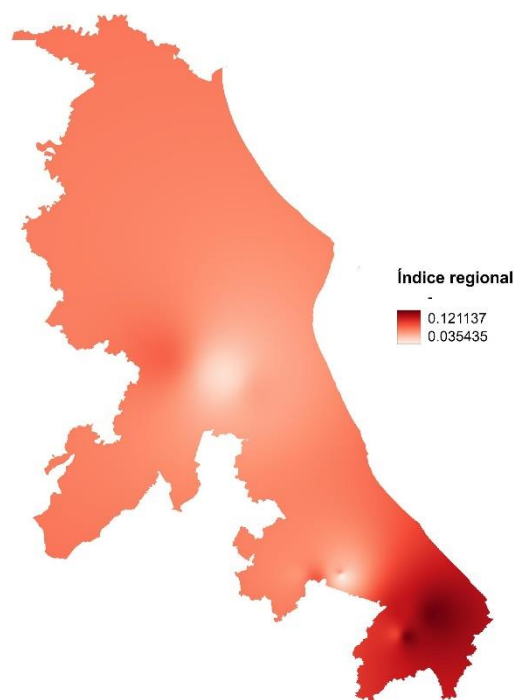


Figura 15. Mapa interpolado de índices de riesgo epidemiológico multivariado en la región Centro-Norte de Veracruz

3.3.3.4. Análisis de conglomerados

Con base al análisis de conglomerados, utilizando las seis variables seleccionadas mediante el ACP y AF (temperatura, humedad relativa, manejo fitosanitario, precipitación, incidencia e infestación del vector), y considerando un punto de corte del dendograma a una distancia euclidiana de 0.80 (línea punteada) se definieron cuatro grupos con diferenciación epidemiológica.

El Grupo 1 estuvo integrado por H12, caracterizado por alta humedad relativa, temperatura promedio de 21°C, alta incidencia, y baja infestación del vector. Este huerto se distingue por su condición sin ningún tipo de manejo; al ubicarse en una zona de alta inductividad epidemiológica, la ausencia de manejo favoreció la acumulación de fuentes de inóculo, lo que explica la elevada incidencia observada, aún con niveles bajos del vector.

El Grupo 2 incluyó los huertos H4, H5 y H6, con alta humedad relativa, temperaturas cercanas a 19°C, presentando variabilidad en la incidencia; destaca H6 por registrar simultáneamente alta incidencia y alta infestación del vector. Estos sitios, al igual que el grupo anterior, se localizan en zonas de alta inductividad epidemiológica, donde la combinación de condiciones ambientales favorables y elevada presencia del ácaro vector facilita la dispersión del virus, lo que sugiere un ciclo epidemiológico activo.

El Grupo 3 comprendió los huertos H7, H8, H11, con alta humedad relativa, temperaturas variables (17-22°C), incidencia baja a moderada e infestación del vector de media a alta. Este grupo sugiere una fase de establecimiento del patógeno, en la que las condiciones ambientales podrían estar modulando la tasa de transmisión, representando un riesgo potencial en el incremento de la incidencia ante una mayor disponibilidad de fuentes de inóculo.

Finalmente, el Grupo 4 incluyó los huertos H1, H2, H3, H9, H10, caracterizados por alta humedad relativa, temperaturas variables (17-22°C), ausencia o mínima presencia de enfermedad e infestación del vector de media a alta. Esta agrupación se localiza en zonas de baja inductividad epidemiológica y se

distingue por la ausencia del CiLV. Este escenario sugiere que, aunque el vector está presente, el virus aún no se ha establecido; sin embargo, el riesgo es latente, ya que la introducción de material vegetal infectado podría detonar el inicio del ciclo epidemiológico en estas áreas.

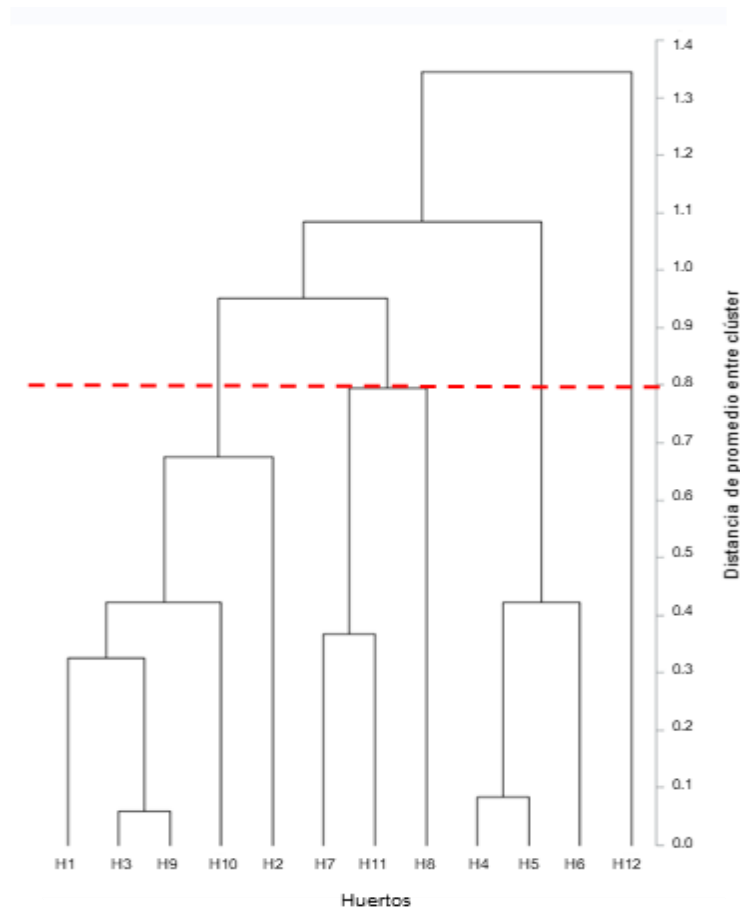


Figura 16. Dendrograma de similaridad para 12 huertas evaluadas considerando una distancia euclidiana de 0.80 y seis variables (temperatura, humedad relativa, manejo fitosanitario, precipitación, incidencia e infestación del vector) georeferenciadas durante 2025-2026 en la zona centro-norte de Veracruz. Los grupos formados fueron: Grupo 1: H12. Grupo 2: H4, H5, H6. Grupo 3: H7, H8, H11. Grupo 4: H1, H2, H3, H9, H10.

En este sentido, la diferenciación de grupos epidemiológicos proporciona una base técnica para orientar estrategias de manejo específicas por zona, priorizando la vigilancia fitosanitaria, el control oportuno del vector y la regulación

del movimiento de material vegetal, con el fin de reducir el riesgo de dispersión y establecimiento del CiLV en áreas actualmente no afectadas (SENASICA, 2020; Bassanezi *et al.*, 2019; Rodrigues *et al.*, 2003).

3.4 CONCLUSIONES

Esta investigación constituye el primer estudio de regionalización epidemiológica del virus de la leprosis de los cítricos en la zona centro-norte de Veracruz, permitiendo identificar las zonas con mayor inductividad de dispersión y establecimiento del CiLV. La capacidad de dispersión y establecimiento del CiLV-C se evaluó a partir de registros de detección de focos reportados por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Veracruz (CESAVE) en la principal región citrícola del estado, que comprende los municipios de Chicontepec, Atzalán, Misantla, Coxquihui, Espinal, Papantla, Martínez de la Torre y Álamo Temapache, mediante un enfoque ponderativo y la construcción de un índice multivariado.

La regionalización obtenida permitió diferenciar zonas con distinto nivel de riesgo, desde áreas con alta actividad del ciclo enfermedad-vector (Misantla, Tlapacoyan y Martínez de la Torre) hasta regiones donde el patógeno aún no se ha establecido, pese a la presencia del vector (Álamo Temapache, Tihuatlán, Chicontepec, Tuxpan). En estos municipios, se concentra la mayor superficie citrícola y la predominancia de cítricos dulces (Naranja), especie altamente susceptible a la CiLV-C. Este hallazgo resalta la importancia de implementar estrategias diferenciadas de manejo y vigilancia.

La conformación de grupos de unidades de producción (12 huertos), caracterizados con las variables temperatura, humedad relativa, manejo fitosanitario, precipitación, incidencia e infestación del vector —seleccionadas mediante componentes principales y factores— permitió identificar cuatro grupos a una distancia euclidiana de 0.80. Estos resultados evidencian que la dinámica epidemiológica del CiLV está determinada principalmente por la interacción entre factores ambientales y la infestación del ácaro vector, siendo la temperatura, la

humedad relativa y la precipitación variables clave en la regulación del sistema epidemiológico. Asimismo, el manejo fitosanitario y la presencia de fuentes de inóculo influyen de manera significativa en la incidencia de la enfermedad, particularmente en zonas con inductividad epidemiológica media (Atzalán y Papantla) y alta (Misantla y Martínez de la Torre). Por otra parte, las unidades ubicadas en Tihuatlán, Tuxpan y Álamo Temapache representan áreas con inductividad potencial para el establecimiento del CiLV, al encontrarse bajo la influencia de municipios con presencia de focos de la enfermedad, como Papantla, Espinal y Coxquihui, lo cual es consistente con los patrones observados en los análisis de interpolación y agrupación de unidades con presencia del patógeno.

En términos prácticos, los resultados generados proporcionan una base técnica para fortalecer la toma de decisiones en campañas fitosanitarias, orientando acciones de monitoreo, control del vector y regulación del movimiento de material vegetal. Esto con el objetivo de contener la dispersión del CiLV y prevenir su establecimiento en áreas que actualmente permanecen libres de la enfermedad.

3.5 LITERATURA CITADA

- Amaral, L., Moraes, G.J., Melville, C.C., & Andrade, D.J. 2018. Factors affecting prevailing population levels of *Brevipalpus yotheri* (Acari: Tenuipalpidae) in citrus areas affected by citrus leprosis in the State of Sao Paulo, Brazil. *Experimental and Applied Acarology*, 74, 395-402. <https://doi.org/10.1007/s10493-018-0239-x>.
- Bassanezi, R.B. (2018). Fatores que dificultam o controle do ácaro da leprose. *Fundecitrus*. Consultado en <https://www.fundecitrus.com.br/noticias/fatores-que-dificultam-o-controle-do-acaro-da-leprose/>
- Bassanezi R.B, Czermainski, A. B.C., Laranjeira, F. F., Moreira, A.S., Ribeiro-Junior, P.J., Krainski, E.T., & Amorim, L. (2019). Spatial patterns of the Citrus leprosis virus and its associated mite vector in systems without intervention. *Plant Pathology*, 68, 85–93. <https://doi.org/10.1111/ppa.12930>
- Bastianel, M., Novelli V.M., Kitajima, E.W., Kubo, K.S., Bassanezi, R., Machado, M.A., & Freitas-Astúa, J. (2010). Citrus Leprosis: Centennial of an unusual mite-virus pathosystem. *Plant Disease*, 94(3), 284-292. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-3-0284>.
- Castro-Resendiz, C.A., Otero-Colina, G., Quijano-Carranza, J.A., Martínez-Meyer, E., Gonzalez-Hernández, H., Cuellar-Zambrano, C., & Soto-Rojas, L. (2021). Potential áreas for the establishment of citrus leprosis virus vectors, *Brevipalpus* spp., in Mexico. *Experimental and Applied Acarology*, 84, 365-388. <https://doi.org/10.1007/s10493-021-00631-5>.
- Domínguez-Monge, S., Mora-Aguilera, G., Loeza-Kuk, E., Rivas-Valencia, P., Ruiz, P.G., Acevedo-Sánchez, G., Munguía, R., & Velázquez, T. (2010). Regionalización epidemiológica de la tristeza de los cítricos en la península de Yucatán. In V Reunión Nacional de Innovación Agrícola (pp. 334). Campeche, México.
- Domínguez-Monge, S. (2011). *Caracterización molecular y biológica y efecto epidemiológico de asilamientos de CTV en los estados de la Península de Yucatán* (Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Edo. De México). Consultada en <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/527?show=full>
- Forbes, G.A., Mizubuti, E.S., & Shtienberg, D. (2009). Plant Disease Epidemiology and Disease Management- Has Science Had an impact on

- Practice?. In R. Peshin y A.K. Dhawan (Eds). *Integrated Pest Management: Innovation-Development Process*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8992-3_14
- Gómez-Mercado, R., Santillán-Galicia, M.T., Guzmán-Franco, A.W., Valdovinos-Ponce, G., Becerril-Román, E.A., & Robles-García, P.L. (2019). Spatiotemporal associations between the mite *Brevipalpus yotheri* and citrus leprosis virus C in orange orchards. *Experimental and Applied Acarology*, 79, 69-86. <https://doi.org/10.1007/s10493-019-00409-w>.
- Hendrichs, J., Kenmore, P., Robinson, A.S., & Vreysen, M.J.B. (2007). Area-wide integrate pest management (AW-IPM): Principales Practice and Prospects. In Vreysen, M.J.B., Robinson, A.S., y Hendrichs, J. (eds). *Area-wide control of insects pest* (pp. 3-31). *Springer*. Vienna Austria. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6059-5_1
- Islam, W., Noman, A., Naveed, H., Alamri, S., Hashem, M., Huang, Z., & Chen, H. (2020). Plant-insect vector-virus interactions under enviromental change, *Science of the Total Enviroment*, 701, 135044. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135044>.
- Jolliffe, I.T. (1986). Principal Component Analysis and Factor Analysis. In *Principal Component Analysis*. Springer Series in Statistics. Springer, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-1904-8_7.
- León, M.G, Campos, J.C., Guevara, Y.A., & Roy, A. (2023). Distribución, plantas hospederas y ácaros vectores del virus de la leprosis de los cítricos en Colombia. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7406429>.
- Madden, L., Hughes, G., & Bosch, F.V.D. (2007). *Study of Plant Disease Epidemics*. American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota. <https://doi.org/10.1094/9780890545058>.
- Mora-Aguilera, G., Nieto-Angel, D., Campbell, C.L., Téliz, D., & García, E. (1996). Multivariate comparision of papaya ringspot epidemics. *Phytopathology*, 86, 70-78.
- Mora-Aguilera, G., & Campbell, C.L. (1997). Multivariate techniques for selection of epidemiological variables. In L. Franci y D.A. Neher (Eds). *Exercises in Plant Disease Epidemiology* (pp. 51-58). American Phytopathological Society.
- Mora-Aguilera, G., Acevedo-Sánchez, G., Flores-Sánchez, J., Gonzalez-Gomez, & R., Robles-Garcia, P. (2013). *Applied Epidemiology to Plant Disease*

- Risk Analyse. In Proceedings IV Brazilian Workshop of Plant Disease Epidemiology (pp. 27-29). Curitiba, Brasil.
- Mora-Aguilera, G., Acevedo-Sánchez, G., Flores-Sánchez, J., Hernández, R., Gonzalez-Gómez, R., & Robles-García, P. (2014). Regional Epidemiology: A new frontier and challenge in plant pathology. In 47° Congresso Brasileiro de Fitopatologia (p. 6). Londrina, Paraná, Brasil.
- Mora-Aguilera, G., Acevedo-Sánchez, G., Flores-Colorado, O.E., Coria-Contreras, J.J., & Guzmán-Hernández, E. (2023). App-Explora Cítricos, a digital development for integrate pest surveillance in citrus crops. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 41, 45-69.
- Nunes, M.A., Bastianel, M., Novelli, V.M., Ramos-Gonzalez, P.L., Kitajima, E.W., Machado, M.A., & Freitas-Astúa, J. (2013). Etiología, historia, situación mundial y manejo de la leprosis de los cítricos y sus vectores. In 3er Taller Internacional sobre Plagas Cuarentenarias de los Cítricos (pp. 8). Colima, México.
- Ristaino, J.B., Anderson, P.K., Bebber, D.P., Brauman, K.A., Cunniffe, N.J., Fedoroff, N.V., Finegold, C., Garret, K.A., Giligan, A., Jones, C.M., Martin, M.D., MacDonald, G.K., Neenan, P., Records, A., Schmale, D.G., Tateosian, L., & Wei, Q. (2021). The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. *Perspective*, 118, 1-9 <https://doi.org/10.1073/pnas.2022239118>.
- Rodrigues, J.C.V., Childers, C.C., Kitajima, E.W., Machado, M.A., & Nogueira, N.L. (2001). Uma estrategia para o controle da leprose dos citros. *Laranja*, 22, 411-423.
- Rodrigues, J.C.V., Kitajima, E.W., Childers, C.C., & Chagas, C.M. (2003). Citrus leprosis virus vectored by *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae) on citrus in Brazil. *Experimental and Applied Acarology*, 30, 161-179. <https://doi.org/10.1023/B:APPA.0000006547.76802.6e>.
- Santillán-Galicia, M.T., Valdovinos-Ponce, G., & Guzmán-Franco, A.W. (2022). *Brevipalpus* y La Leprosis De Los Cítricos. In L.D. Ortega-Arenas (ed), *Insectos y ácaros vectores de fitopatógenos* (pp. 158-183). Colegio de Postgraduados.
- SENASICA Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2017). Onceavo Informe Mensual Nacional, Leprosis de los cítricos. Consultado en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279596/Informe_No_11___Noviembre_2017-Leprosis_de_los_c_tricos.pdf.

- SENASICA. (2020). Manual operativo de la campaña contra plagas de cítricos. Consultado en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/614759/Manual_operativo_Plagas_de_los_C_tricos.pdf.
- SENASICA. (2023). Décimo informe mensual 2023, Campaña de Protección Fitosanitaria para Plagas de los Cítricos. Consultado en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/885844/11_Noviembre_Plagas_de_los_c_tricos.pdf.
- SENASICA. (2024). Manual de muestreo Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Consultado en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/979001/MANUAL_DE_MUESTREO_2024.pdf.
- Tassi, A.D., Garita-Salazar, L.C., Amorim, L., Novelli, V., Freitas-Astúa, J., Childers, C., & Kitajima, E.W. (2017). Virus-Vector relationship in the Citrus leprosis pathosystem. *Experimental and Applied Acarology*, 71, 227-241. <https://doi.org/10.1007/s10493-017-0123-0>.

CAPÍTULO 4. PATRÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL CiLV EN LA ZONA CENTRO-NORTE DE VERACRUZ

Resumen

Se determinó el patrón espacial en 13 lotes y el patrón espacio-temporal en dos huertas en la región centro-norte de Veracruz durante el periodo 2024-2026. Para ello, se utilizaron índices de dispersión (*ordinary runs*, varianza/media e índice de Morisita) y técnicas geoestadísticas mediante mapas interpolados. En el análisis espacial, los índices de dispersión oscilaron entre -7.94 y 3.90 para *ordinary runs*, de 0.10 a 3.10 para varianza/media y de 0.10 a 3.50 para Morisita. En el análisis espacio-temporal, la huerta de Lomas de las Flores (Martínez de la Torre) presentó valores de -5.58 a -4.91, 0.30 a 2.0 y 0.50 a 1.80 para *ordinary runs*, varianza/media e Morisita, respectivamente, evidenciando focos bien definidos y gradientes de dispersión asociados a procesos de dispersión secundaria. En contraste, la huerta de Manuel Alemán Valdez (Espinal) mostró valores de 3.90 a 1.10, 0.90 a 1.50 y 1.0 a 1.70 para los mismos índices, presentando focos pocos definidos y ausencia de gradientes de dispersión, sugiriendo eventos de dispersión primaria. En general, siete de las 13 huertas presentaron un patrón agregado y seis un patrón uniforme. Los mapas geoestadístico confirmaron la predominancia de patrones agregados en los lotes de El Diamante, Arroyo del Potrero 1, El Cañizo, El Edén, El Cedral, Coxquihui y Coapeche. Los resultados evidencian la presencia de un sistema epidemiológico activo en la región y sugieren que la integración de índices de dispersión y herramientas geoestadísticas puede contribuir a la definición de unidades de muestreo y fortalecimiento de estrategias de vigilancia epidemiológicas y manejo del CiLV.

3.1 INTRODUCCIÓN

El virus de la leprosis de los cítricos (CiLV) es considerado una de las enfermedades virales de mayor importancia en la citricultura de América Latina, debido a su amplia distribución y al impacto que genera en la producción (Bastianel *et al.*, 2010). Se estima que los daños pueden oscilar entre 30 y 100%, como resultado de la caída prematura de frutos, la reducción del rendimiento y de la calidad comercial, la defoliación y la muerte de ramas afectadas (Rodrigues *et al.*, 2003). A nivel de huerto, la propagación del CiLV está estrechamente asociada a la presencia de ácaros vectores del género *Brevipalpus*, cuya movilidad limitada favorece una dispersión predominantemente local, entre árboles contiguos y a lo largo de las hileras. No obstante, factores como el viento, las prácticas de manejo y la estructura del dosel pueden contribuir a su dispersión a mayores distancias, influyendo en la formación y expansión de focos de infección (Bassanesi *et al.*, 2019).

En México, el CiLV se encuentra distribuido en al menos 13 estados productores de cítricos (SENASICA, 2025), destacando Veracruz por su importancia económica; particularmente, la región centro-norte concentra aproximadamente el 42% de la superficie nacional sembrada con cítricos dulces, principalmente naranja (SIAP, 2024). En este contexto, la presencia y dinámica del CiLV representan un riesgo fitosanitario significativo para la sostenibilidad de la citricultura regional.

El análisis de patrones espacio-temporales se ha consolidado como una herramienta fundamental en la epidemiología de enfermedades de plantas, ya que permite describir, cuantificar y modelar la distribución de los patógenos en el espacio y el tiempo (Real & Biek, 2007). Este enfoque es particularmente útil para la caracterización de focos de infección, la identificación de patrones de agregación y la delimitación de zonas de riesgo, contribuyendo a mejorar la precisión en la toma de decisiones para el manejo fitosanitario.

En el caso de CiLV, diversos estudios en Brasil y México han documentado la presencia de patrones espaciales agregados a nivel de huerto, evidenciando que

la enfermedad tiende a organizarse en focos de infección como resultado de la limitada dispersión del ácaro vector y la influencia de factores ambientales (Bassanezi *et al.*, 2019; Bassanezi & Laranjeira, 2007; Maldonado *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2016). Sin embargo, aún es limitada la información que integra simultáneamente la dimensión espacial y temporal del CiLV a escala regional en México.

Bajo este contexto, la caracterización espacio-temporal de los focos de CiLV en la región-centro norte de Veracruz resulta fundamental para comprender la dinámica de la epidemia y los procesos de dispersión y establecimiento del patógeno. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue analizar el patrón espacio-temporal del CiLV mediante el uso de índices de dispersión, con el fin de caracterizar la dispersión espacial de los focos de infección en huertos comerciales de naranja dulce en la región.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Sitios de estudio

Durante los meses de diciembre de 2024 a marzo de 2026, se seleccionaron 14 huertas (total de 15 lotes, ya que una huerta tuvo dos lotes) con presencia de síntomas característicos de CiLV en ocho municipios de la zona centro-norte del estado de Veracruz (Cuadro 1). Los sitios de estudio se ubicaron los municipios de Martínez de la Torre, Tlapacoyan, Misantla, Espinal, Atzalán, Coxquihui, y Papantla, así como en el municipio de San José Acateno, en el estado de Puebla (Figura 17).

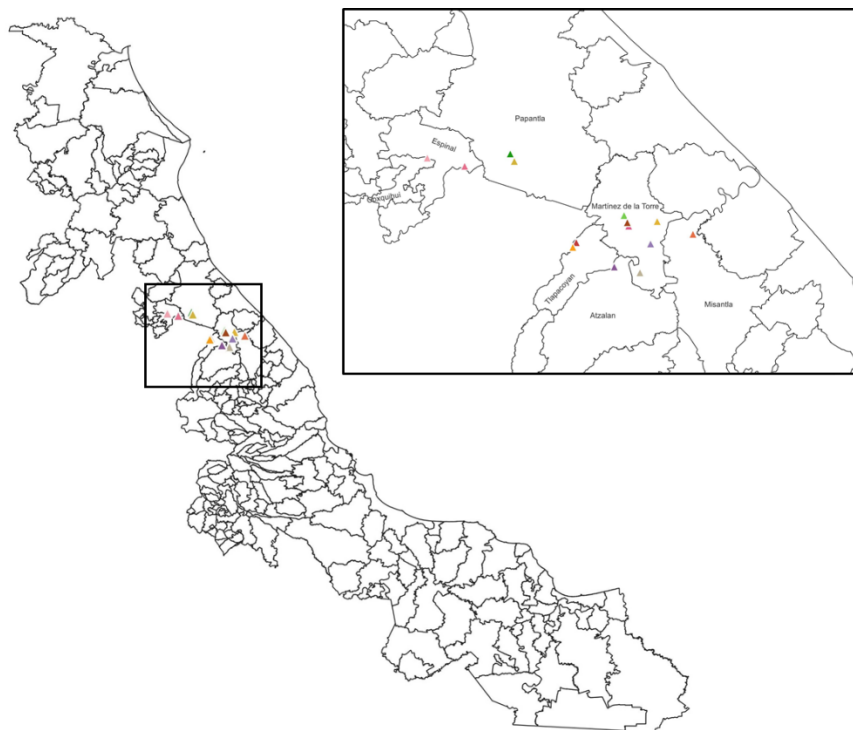


Figura 17. Localización geográfica de los sitios de estudio en la región centro-norte de Veracruz y zona colindante de Puebla, México.

3.2.2. Muestreo restrictivo en censo

En cada sitio de muestreo, el área experimental o lote (área restrictiva) se delimitó mediante un censo de 10 surcos x 10 árboles (100 árboles), con base a estudios previos realizados en cítricos para otros patosistemas de la región (Domínguez-Monge *et al.*, 2024). Cada área restrictiva incluyó al menos un árbol con síntomas de la enfermedad. La detección inicial de los focos fue realizada por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Veracruz (CESAVE) (SENASICA, 2023).

Los censos se llevaron a cabo entre diciembre de 2024 y marzo de 2025 (Cuadro 5), por el grupo de investigadores del proyecto con apoyo logístico del personal del CESAVE Veracruz. La selección de los sitios de muestreo a nivel regional se basó en la estimación del factor de riesgo por unidad espacial (Figura 8), calculado mediante un método ponderativo que integra variables de los subsistemas hospedante y enfermedad. Este enfoque ha sido utilizado

previamente para la identificación de zonas de riesgo y el establecimiento de sistemas de vigilancia epidemiológica (Domínguez-Monge *et al.*, 2010; Flores-Sánchez *et al.*, 2017; Mora-Aguilera *et al.*, 2014a) y fue igualmente aplicado en el Capítulo III del presente estudio.

La evaluación de incidencia se realizó dentro de cada área restrictiva mediante inspección visual de todos los árboles, considerando la sintomatología típica asociada al CiLV (SENASICA, 2020a). Se consideró como árbol positivo aquel que presentó al menos un síntoma característico en hojas, ramas o frutos.

La incidencia de la enfermedad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Incidencia = (AS) / (AT) * 100$$

Donde:

AS= Número de árboles con síntomas del CiLV

AT= Número total de árboles evaluados por área restrictiva

Cuadro 5. Características de las 14 huertas censadas utilizadas para determinar el patrón espacio-temporal del CiLV en la región centro-norte de Veracruz entre 2024-2026.

Lote	Localidad	Municipio	Especie	Patr	% Inc	Lat	Lon	F.M.
1	Loma de las Flores	Mtz de la Torre	Naranja	Agrio	88	20.0156	-97.0372	25-jul-25
2	El Mezclero	Tlapacoyan	Naranja	Agrio	99	20.08119	-97.17573	30-jul-25
3	María de la Torre	Mtz de la Torre	Naranja	Agrio	100	20.12712	-96.99997	31-jul-25
4	El Diamante	Mtz de la Torre	Naranja	Agrio	100	20.11717	-97.06175	31-jul-25
5	Arroyo del Potrero	Mtz de la Torre	Naranja	Agrio	78	20.14012	-97.07181	07-ago-25
6	El Cañizo	Mtz de la Torre	Naranja	Agrio	72	20.07838	-97.01415	08-ago-25
7	Coapeche	Misantla	Naranja	Agrio	6	20.0993	-96.92197	15-ago-25
8	Jiliapan	Acateno	Naranja	Agrio	77	20.07026 7	-97.18557	14-oct-25

9	Miguel Alemán Valdez	Espinal	Naranja	Agrio	4	20.24747 5	-97.41837	10-dic-25
10	Novara	Atzalán	Naranja	Agrio	72	20.02815	-97.09301	13-nov-25
11	Coxquihui	Coxquihui	Naranja	Agrio	28.5	20.26535	-97.49972	10-dic-25
12	El Edén	Papantla	Naranja	Agrio	7.14	20.27450 4	-97.31928	05-mar-26
13	El Cedral	Papantla	Naranja	Agrio	50.5	20.25808	-97.31047	06-mar-26
14	Arroyo del Potrero	Mtz de la Torre	Naranja	Agrio	97	20.12472	-97.06472	31-mar-26

Patr = Patrón o portainjerto; % Inc= Porcentaje de incidencia; Lat= Latitud; Lon= Longitud; F.M= Fecha de muestreo.

3.2.3 Análisis molecular

Para confirmar la presencia de CiLV, en cada huerto se colectaron muestras de tejido vegetal sintomático provenientes de hojas, frutos y ramas, las cuáles fueron enviadas al laboratorio de Virología del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (CNRF) para su análisis. El ARN viral se extrajo a partir de tejido vegetal sintomático y la detección del virus se realizó mediante transcripción inversa seguido de la reacción en cadena de la polimerasa (RT-PCR), utilizando iniciadores específicos desarrollados por Localli (2003).

3.2.4 Análisis geoestadístico

Los datos de incidencia obtenidos en campo, codificados en forma binaria (0 = árbol sano; 1 = árbol sintomático), se analizaron mediante técnicas geoestadísticas utilizando el software Surfer®10 (Golden Software Inc.), con el propósito de caracterizar estructura espacial de la epidemia. La distribución espacial de la enfermedad se representó mediante mapas interpolados de incidencia generados a través del método de kriging. Este análisis permitió inferir la escala de agregación y la extensión de los focos de infección, generando áreas continuas (contornos) que reflejan la intensidad y distribución espacial del CiLV, lo que facilitó la identificación de focos activos, gradientes de dispersión y zonas con mayor riesgo epidemiológico en los huertos evaluados.

3.2.5 Análisis espacio-temporal de CiLV

Para el análisis espacio-temporal se utilizaron reportes históricos de focos de CiLV registrados por el CESAVE Veracruz. Se seleccionaron las huertas Lomas de las Flores y Miguel Alemán Valdez, ubicadas en los municipios de Martínez de la Torre y Espinal, respectivamente, las cuales contaron con dos fechas de evaluación (Cuadro 6 y 7). El objetivo de este análisis fue caracterizar la diseminación de la enfermedad en presencia del ácaro vector *Brevipalpus*, así como evaluar los cambios en el patrón espacial de los focos bajo condiciones de manejo focal, particularmente mediante la erradicación de plantas infectadas (SENASICA, 2020b).

Cuadro 6. Incidencia temporal del CiLV en área restrictiva de la huerta Loma de las Flores, en el municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, expresada como incidencia relativa y acumulada.

	Fecha 1	Fecha 2
	10-dic-24	25-jul-25
(+) / Evaluación	24	23
Incidencia acumulada (%)	24	47

Cuadro 7. Incidencia temporal del CiLV en área restrictiva de la huerta Miguel Alemán Valdez, en el municipio de Espinal, Veracruz, expresada como incidencia relativa y acumulada.

	Fecha 1	Fecha 2
	03-oct-25	10-dic-25
(+) / Evaluación	4	1
Incidencia acumulada (%)	4	5

Para ambas huertas (Lomas de las Flores y Miguel Alemán Valdez), el área de estudio comprendió un arreglo de 10 surcos x 10 árboles (100 árboles). Posterior a los reportes históricos registrados en 2017 por el CESAVE Veracruz en la zona centro-norte del estado, se implementaron labores de control de focos conforme a lo establecido en el manual operativo de la campaña fitosanitaria contra CiLV (SENASICA, 2020b) (Figura 18).

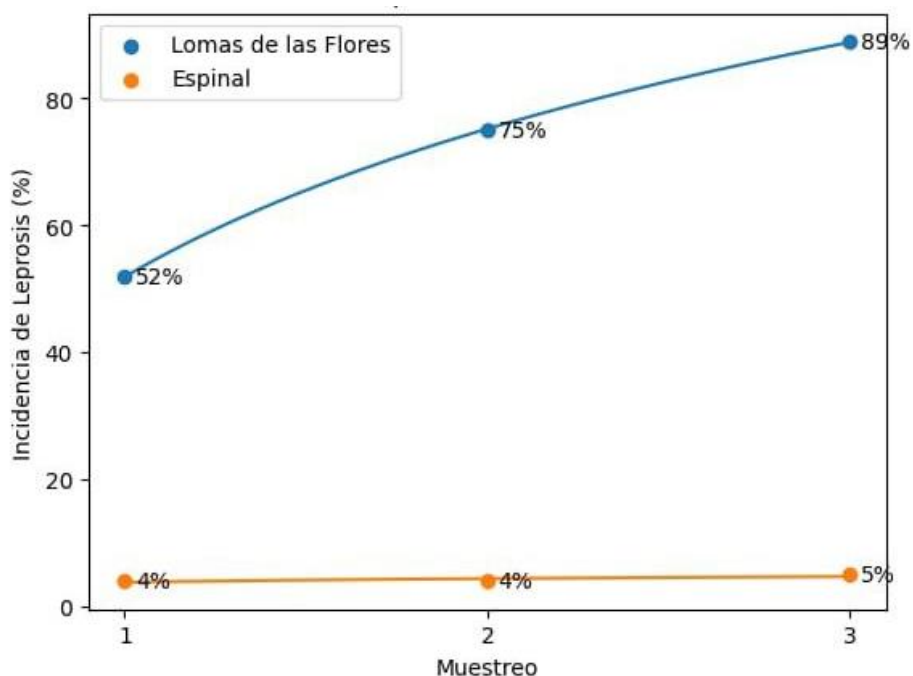


Figura 18. Porcentaje de incidencia de leprosis de los cítricos en las huertas Lomas de las Flores y Miguel Alemán Valdez, ubicadas en la región centro-norte de Veracruz, evidenciado el incremento de la incidencia a lo largo del tiempo aún bajo manejo focal.

3.2.6 Análisis espacial

Las huertas El Mezclero, María de la Torre, El Diamante, Arroyo del Potrero 1, El Cañizo, Coapeche, Jiliapan L1, Jiliapan L2, La Novara, Coxquihui, El Edén, El Cedral y Arroyo del Potrero 2 fueron analizadas con base en una sola fecha de evaluación, realizada entre julio de 2025 y marzo de 2026 (Cuadro 5). El propósito de este análisis fue caracterizar los patrones espaciales de la enfermedad y generar mapas de distribución que sirvan como base para estudios de simulación epidemiológica y diseño de estrategias de muestreo

3.2.7 Determinación del tipo de patrón espacial

Índices de dispersión

Para evaluar los patrones espaciales del CiLV, los datos de incidencia obtenidos se analizaron mediante técnicas geoestadísticas, a partir de las cuales se generaron mapas de dispersión utilizando el software Surfer® 10. Con fines validación estadística, en cada huerta, se aplicaron dos enfoques complementarios de análisis jerárquico, empleando tres índices de dispersión: *ordinary runs*, varianza/media (V/M) e índice de Morisita (Ig).

El primer enfoque correspondió al análisis de *ordinary runs*, utilizado para la determinar la existencia de agregación entre árboles sintomáticos adyacentes, tanto dentro de los surcos como entre surcos. Un *run* (U) se definió como una secuencia de uno o más árboles consecutivos con el mismo estado fitosanitario (sintomático o asintomático). Bajo la hipótesis nula de aleatoriedad, el número esperado de *runs* se estimó mediante:

$$E(U) = 1 + 2m(N - m) / N$$

Donde:

m = Número de árboles sintomáticos

N = Número total de árboles evaluados por surco o entre surcos

La desviación estándar de U se calculó como:

$$S(U) = \sqrt{2m(N - m)[2m(N - m) - N / N^2(N - 1)]}$$

La significancia de la agregación se evaluó mediante una prueba normal Z, definida como:

$$Z(U) = (U + 0.5) - E(U) / S(U)$$

Donde:

Valores $Z < -1.67$ ($p = 0.05$) indicaron el rechazo de la hipótesis nula de distribución aleatoria, aceptando una distribución agregada (Kranz, 1993). Con base en estos resultados, se estimó el porcentaje de surcos que presentaron agregación de árboles sintomáticos dentro de cada bloque de muestreo.

El segundo enfoque se empleó para evaluar la agregación a nivel de cuadrantes. Para ello, se calcularon los índices de varianza/media (V/M) y de Morisita ($I\delta$), de acuerdo con la metodología descrita por Kranz (1993) y Morisita (1959).

La relación varianza/media (V/M) se calculó mediante:

$$V / M = s^2 / \bar{x}$$

Dónde:

S^2 = Varianza

$\bar{x}$ = Media del número de árboles enfermos por cuadrante

El índice de Morisita ($I\delta$) se calculó mediante:

$$I\delta = n \sum x_i (x_i - 1) / N (N - 1)$$

Dónde:

n = Número de cuadrantes

x_i = Número de árboles enfermos en el i -ésimo cuadrante

N = Número total de individuos observados

La interpretación de este índice fue:

$I_g < 1$ indica un patrón uniforme

$I_g = 1$ un patrón aleatorio

$I_g > 1$ para un patrón agregado o de tipo contagioso.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Detección molecular del CiLV

Los análisis moleculares confirmaron la presencia del virus de la leprosis de los cítricos tipo citoplasmático (CiLV-C) en el total de las muestras evaluadas en la región centro-norte de Veracruz (Cuadro 8), evidenciando su prevalencia y amplia distribución en una de las principales zonas productoras de cítricos dulces del país (151, 603 ha de superficie sembrada). La prevalencia del CiLV-C en las muestras analizadas coincide con lo reportado en estudios previos, donde se menciona que este tipo viral es el de mayor distribución en América Latina, incluyendo a México (Bastianel *et al.*, 2010; Salinas-Vargas *et al.*, 2019).

La predominancia del CiLV-C ha sido asociada a condiciones climáticas cálidas y a regiones de baja altitud, lo cual es consistente con las características agroecológicas de la zona de estudio (Kitajima *et al.*, 2003). Asimismo, factores como la alta disponibilidad de hospedantes susceptibles, la presencia del ácaro vector y las prácticas de manejo influyen en su establecimiento y dispersión a nivel regional.

En este contexto, la tipología del virus encontrada establece una base sólida para la interpretación de los patrones espaciales observados en campo, ya que asegura que la sintomatología registrada corresponde efectivamente a la presencia del patógeno. La distribución espacial de los árboles sintomáticos refleja la dinámica de dispersión del virus, estrechamente asociada al comportamiento del ácaro vector *Brevipalpus* y a la influencia de factores ambientales (Amaral *et al.*, 2018; Gómez-Mercado *et al.*, 2019). Así, la caracterización de los focos y su arreglo espacial permite inferir procesos de agregación y expansión de la enfermedad, vinculando la evidencia molecular con la estructura epidemiológica del sistema (Bassanezi & Laranjeira, 2007). Este enfoque integrado fortalece la comprensión el patrón espacio-temporal del CiLV en la región de estudio y sustenta el análisis de los mecanismos de dispersión y establecimiento del patógeno en las huertas evaluadas.

Cuadro 8. Resultados del diagnóstico molecular mediante RT-PCR para la detección de Cilevirus leprosis (CiLV-C) en la región centro-norte de Veracruz.

Sitio	Localidad	Municipio	Resultado RT-PCR
1	Loma de las Flores	Mtz de la Torre	Positivo CiLV-C
2	El Mezclero	Tlapacoyan	Positivo CiLV-C
3	María de la Torre	Mtz de la Torre	Positivo CiLV-C
4	El Diamante	Mtz de la Torre	Positivo CiLV-C
5	Arroyo del Potrero	Mtz de la Torre	Positivo CiLV-C
6	El Cañizo	Mtz de la Torre	Positivo CiLV-C
7	Coapeche	Misantla	Positivo CiLV-C
8	Jiliapan L1	San José Acateno	-
9	Jiliapan L2	San José Acateno	-
10	Miguel Alemán Valdez	Espinal	Positivo CiLV-C
11	Novara	Atzalán	Positivo CiLV-C
12	Coxquihui	Coxquihui	Positivo CiLV-C
13	El Edén	Papantla	Positivo CiLV-C
14	El Cedral	Papantla	Positivo CiLV-C
15	Arroyo del Potrero	Mtz de la Torre	-

*Sitios que no se analizaron mediante RT-PCR

3.2.3 Análisis geoestadístico

Espacio-temporal

Los mapas geoestadísticos generados mediante kriging de cada huerto permitieron identificar la direccionalidad de la dispersión del CiLV, así como su arreglo espacial tanto dentro de los surcos como entre surcos. La distribución observada evidencia que los procesos de dispersión están determinados por la interacción entre el vector, hospedante y el ambiente, los cuales en conjunto definen la estructura espacial de la enfermedad. Este mapeo geoestadístico proporcionó una visualización rápida de la distribución de árboles sanos y sintomáticos, constituyéndose como un primer elemento en el análisis espacial. Asimismo, esta representación permitió reconocer patrones preliminares de comportamiento de la enfermedad, los cuales fueron posteriormente corroborados y complementados mediante la aplicación de índices de dispersión.

En la huerta de Lomas de las flores (Martínez de la Torre), las dos fechas de evaluación evidenciaron la presencia de focos claramente definidos, así como gradientes de dispersión bien establecidos. Esta estructura espacial sugiere que la propagación del CiLV ocurre principalmente a distancias cortas, favoreciendo la formación de focos y patrones de agregación dentro del huerto. Asimismo, los gradientes observados indican un proceso activo de dispersión, en el que las áreas con mayor intensidad de daño (zonas de mayor tonalidad) actúan como fuentes de inóculo, desde las cuales la enfermedad se expande hacia áreas adyacentes (Figura 19). Este comportamiento es característico de epidemias con dispersión dependiente del vector, donde la movilidad limitada del organismo transmisor condiciona la formación de patrones agregados (Bassanezi y Laranjeira, 2007; Gomez-Mercado *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2016).

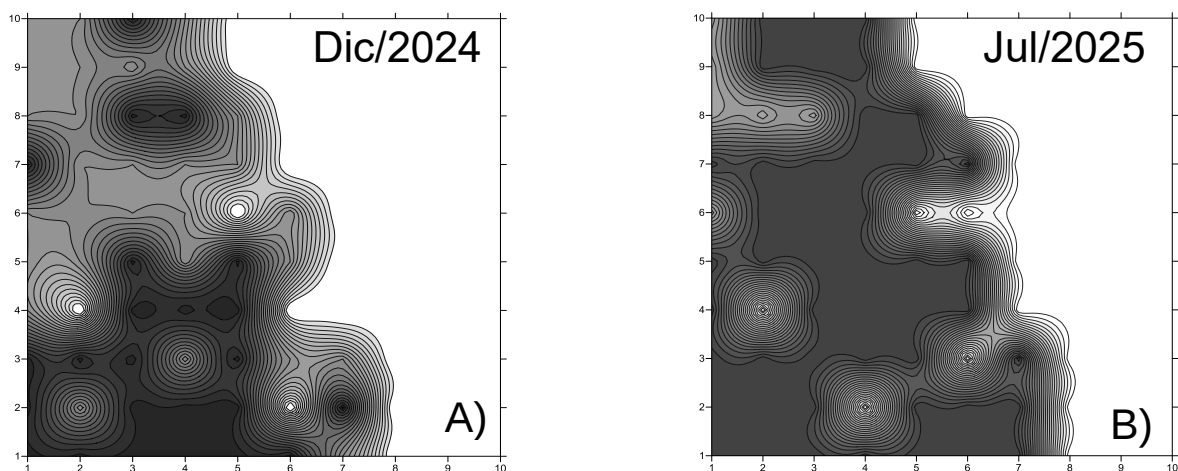


Figura 19. Mapas interpolados de incidencia del CiLV en la huerta Loma de las Flores, ubicada en el municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, correspondientes a dos fechas de evaluación: A) diciembre de 2024 y B) julio de 2025.

En la huerta de Miguel Alemán Valdez (Espinal), los mapas interpolados evidenciaron la presencia de focos poco definidos y la ausencia de gradientes de dispersión (Figura 20). Este patrón sugiere una distribución espacial cercana a la aleatoriedad, lo que podría estar asociado a eventos de dispersión a mayores distancias. Este tipo de comportamiento es consistente con procesos de dispersión primaria, posiblemente derivados del movimiento de material vegetal o de herramientas y equipos agrícolas contaminados con ácaros infectivos, lo que favorece la introducción del patógeno en nuevos puntos dentro del huerto (Bassanezi *et al.*, 2019).

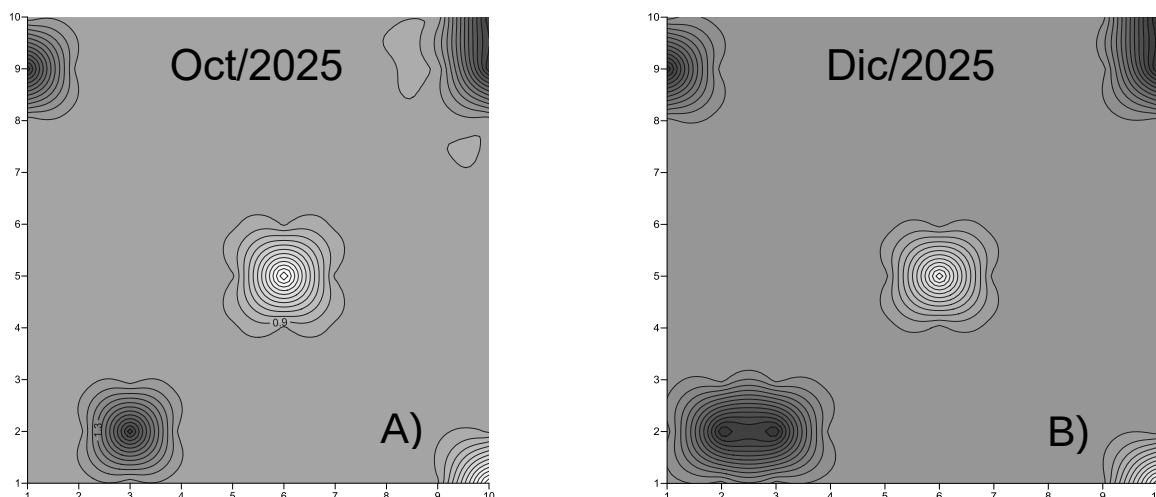


Figura 20. Mapas interpolados de incidencia del CiLV en la huerta Miguel Alemán Valdez, ubicada en el municipio de Espinal, Veracruz correspondientes a dos fechas de evaluación: A) octubre de 2025 y B) diciembre de 2025.

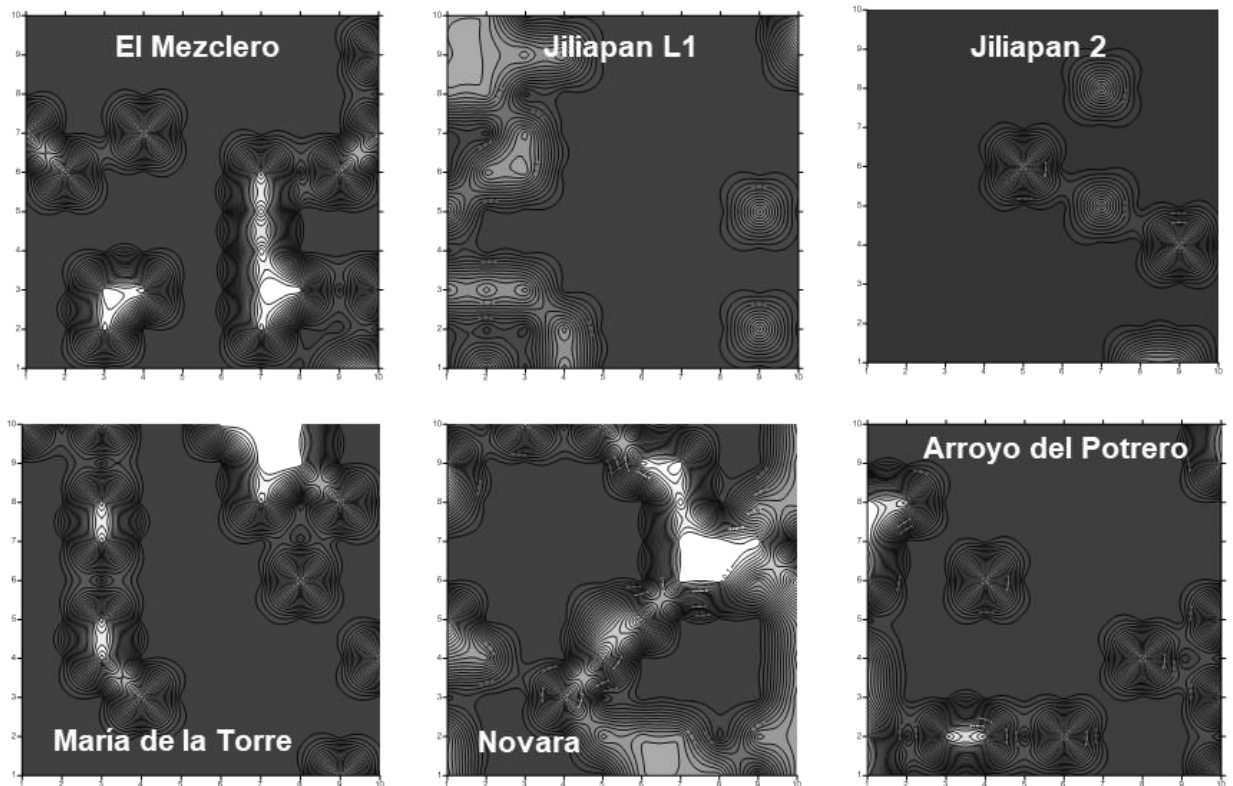
Análisis espacial

De manera general, los mapas geoestadísticos validaron el tipo de patrón predominante en la región centro-norte de Veracruz. De los 13 sitios evaluados, siete mostraron un patrón agregado, correspondiente a las huertas El Diamante, Arroyo del Potrero 1 y El Cañizo (Martínez de la Torre); El Edén y El Cedral (Papantla); Coxquihui (Coxquihui) y Coapeche (Misantla). Por otra parte, seis huertas mostraron un patrón uniforme, incluyendo El Mezclero (Tlapacoyan), María de la Torre y Arroyo del Potrero 2 (Martínez de la Torre), San José Acateno (San José Acateno), y La Novara (Atzalán). En conjunto, los municipios de Martínez de la Torre, Tlapacoyan, Misantla, San José Acateno, Atzalán, Coxquihui y Papantla evidencian una combinación de patrones agregado-uniforme (Figura 21).

Este comportamiento indica la presencia de un sistema epidemiológico activo, caracterizado por procesos continuos de dispersión del CiLV. Los patrones agregados reflejan la formación de focos de infección asociados a la dispersión local del ácaro vector (dispersión secundaria), mientras que los patrones uniformes sugieren una mayor disponibilidad y distribución homogénea de

fuentes de inóculo dentro del huerto, derivada de la acumulación progresiva de la enfermedad (Bassanezi & Laranjeira, 2007). En conjunto, esta combinación de patrones evidencia una dinámica epidemiológica de carácter endémico, en la cual el patógeno se encuentra establecido y en proceso continuo de dispersión dentro del sistema productivo (Mora-Aguilera *et al.*, 2014b).

Patrón Uniforme (A)



Patrón Agregado (B)

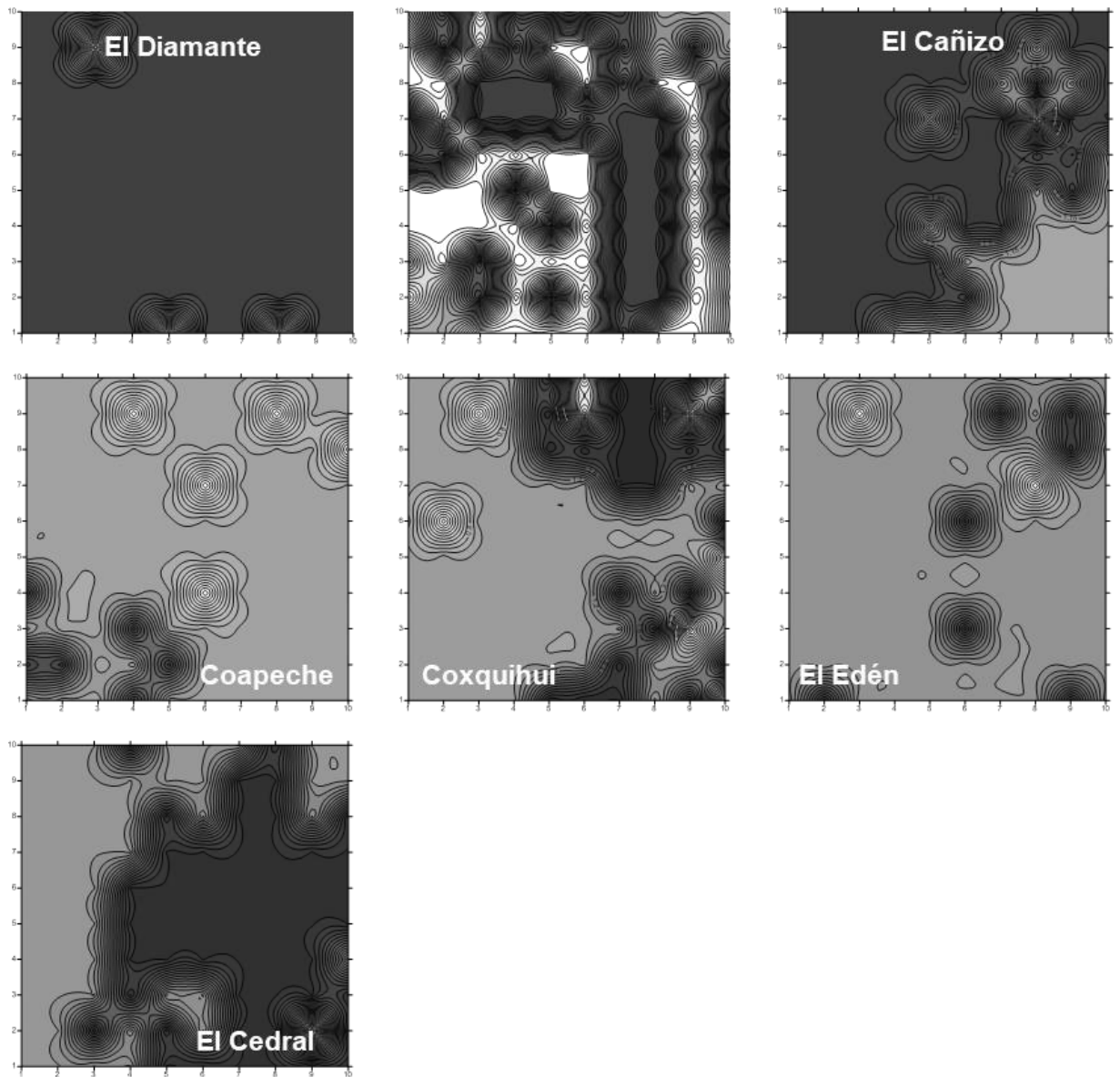


Figura 21. Mapas de interpolación geoestadística de los sitios de estudios en la región centro-norte de Veracruz, que muestran distribución espacial de árboles con síntomas de CiLV. A) patrón uniforme y B) patrón agregado.

3.2.4 Índices de dispersión

Análisis espacio-temporal

En la huerta de Loma de las Flores (Martínez de la Torre), la primera fecha de evaluación (diciembre de 2024) presentó un patrón espacial agregado, con valores de -5.57, 2.0 y 1.80 para los índices de *runs*, varianza/media (V/M) e índice de Morisita (I_g), respectivamente. En la segunda evaluación (julio de 2025), el patrón cambió hacia una distribución más uniforme, con valores de 0.30 y 0.50 para V/M e I_d , respectivamente (Cuadro 9). Este cambio de un patrón agregado a uno uniforme sugiere un proceso de dispersión secundaria del patógeno dentro del huerto (Czermainsky *et al.*, 2009), asociado a la actividad del ácaro vector, el cual favorece la expansión de la enfermedad desde focos iniciales hacia una distribución más homogénea. Asimismo, se observó un incremento de incidencia del 43% entre evaluaciones, lo que confirma la presencia de un proceso activo de dispersión de la enfermedad en la zona de estudio.

En la huerta de Miguel Alemán Valdez (Espinal), durante la primera evaluación (octubre de 2025) se observó un patrón espacial aleatorio, con valores de 3.9, 0.90 y 1.0 para los índices de *runs*, V/M y I_d , respectivamente. En la segunda fecha (diciembre de 2025) el patrón cambió hacia una condición agregada, con valores de 1.50 y 1.70 para V/M e I_d , respectivamente (Cuadro 9). Bajo este escenario, y considerando el corto intervalo de tiempo entre evaluaciones (tres meses), este cambio de patrón sugiere que inicialmente ocurrió un proceso infección primaria, probablemente asociado a la introducción del patógeno a través de material contaminado (ácaros infectivos) en puntos específicos del huerto. Posteriormente, se habría desarrollado un proceso de infección secundaria, mediado por la actividad del ácaro vector, favoreciendo la formación de focos de infección y la transición hacia un patrón agregado.

Cuadro 9. Arreglo espacial del CiLV en dos huertos comerciales de naranja Valencia en la región centro-norte de Veracruz, determinado mediante índices de dispersión.

Localidad	Municipio	Incidencia (%)	Análisis Runs ^a (Z)	V/M ^a	Id ^a	Tipo de Patrón	Eval ^b
Loma de las Flores	Mtz de la Torre	45	-5.57	2.00	1.80	Agregado	dic-24
Loma de las Flores	Mtz de la Torre	88	-4.91	0.30	0.50	Uniforme	jul-25
Miguel Alemán Valdez	Espinal	4	3.9	0.90	1.00	Aleatorio	oct-25
Miguel Alemán Valdez	Espinal	5	1.10	1.50	1.70	Agregado	dic-25

^aCalculado según Kranz (1993), considerando 10 árboles/surco y 10 surcos por huerta. ^bPeriodo de evaluación.

Análisis espacial

De manera general, los índices de dispersión se ubicaron en rangos de -7.94 a 3.90, 0.10 a 3.10 y 0.10 a 3.50 para *runs*, V/M e Id, respectivamente. De las 13 huertas evaluadas, siete presentaron un patrón espacial agregado, mientras que seis mostraron un patrón uniforme. En todos los casos, estos tipos de patrón espacial se asociaron con niveles elevados de incidencia de la enfermedad, que oscilaron entre 6 y 100% (Cuadro 10). En un estudio realizado por Gómez-Mercado *et al.* (2019), en el estado de Tabasco, México, en huertos de naranja 'Valencia' y utilizando el índice de SADIE, se identificaron patrones de agregación, determinando que la enfermedad se propaga principalmente desde árboles enfermos a los árboles adyacentes, lo que se atribuye a la dispersión secundaria por el ácaro vector *Brevipalpus* spp.

Cuadro 10. Arreglo espacial del CiLV en 13 huertos comerciales de naranja Valencia en la región centro-norte de Veracruz, analizado mediante técnicas de ajuste a la distribución beta-binomial.

Sitios	Localidad	Municipio	Incidencia (%)	Análisis Runs ^x (Z)	V/M	Id	Tipo de Patrón ^y
1	El Mezclero	Tlapacoyan	99	-5.98	0.30	0.30	Uniforme
2	María de la Torre	Mtz de la Torre	100	-6.37	0.20	0.20	Uniforme

3	El Diamante	Mtz de la Torre	100	na	0.20	2.00	Agregado
4	Arroyo del Potrero	Mtz de la Torre	78	-3.61	0.90	1.10	Agregado
5	El Cañizo	Mtz de la Torre	72	-7.45	1.30	1.50	Agregado
6	Coapeche	Misantla	6	-0.73	1.90	2.80	Agregado
7	Acateno	Acateno	77	-7.01	0.60	0.60	Uniforme
8	Acateno 2	Acateno	95	-2.01	0.10	0.10	Uniforme
9	Novara	Atzalán	72	-7.84	0.40	0.40	Uniforme
10	Coxquihui	Coxquihui	28.5	-7.33	2.90	3.20	Agregado
11	El Edén	Papantla	7.14	-2.01	1.20	1.40	Agregado
12	El Cedral	Papantla	50.5	-7.94	3.10	3.50	Agregado
13	Arroyo del Potrero 2	Mtz de la Torre	97	-6.53	0.30	0.30	Uniforme

^xCalculado según Kranz (1993), considerando 10 árboles/surco y 10 surcos por huerta. ^yValores mayores a 1=Agregado; Iguales a 1=Aleatorio; Menores a 1=Uniforme.

3.4 CONCLUSIONES

La detección molecular confirmó la presencia del *Cilevirus leprosis* (CiLV-C) en el 100% de las muestras analizadas, evidenciando su amplia distribución en la región centro-norte de Veracruz. Su predominancia, asociada a condiciones ambientales favorables y a la presencia del vector *Brevipalpus*, confirma que este tipo viral es el principal responsable de la dinámica epidemiológica observada. El análisis geoestadístico permitió identificar patrones contrastantes de dispersión del CiLV, desde focos bien definidos con gradientes claros, asociados a procesos de dispersión secundaria intra-huerto (a corta distancia), como en Lomas de las Flores (Martínez de la Torre), hasta distribuciones más aleatorias vinculadas a eventos de dispersión primaria inter-huerto (a mayor distancia), como en Miguel Alemán Valdez (Espinal). Se detectó dependencia espacial (agregación) en siete de las 13 huertas evaluadas, mientras que las restantes mostraron patrones de distribución uniforme. Asimismo, los índices de dispersión indicaron que niveles bajo de incidencia se asocian con patrones aleatorios, mientras que la formación de focos iniciales (infección primaria) favorece la transición hacia patrones agregados, resultado de la dispersión secundaria mediada por el ácaro vector, incluso en periodos cortos de tiempo, como se observó en un intervalo de tres

meses. Desde un punto de vista práctico, estos resultados resaltan la importancia de fortalecer el control del vector, la eliminación oportuna de focos de infección, conforme a lo establecido en el manual operativo de la campaña contra el CiLV (SENASICA, 2020), así como la regulación del movimiento de material vegetal, herramientas e implementos agrícolas contaminados con ácaros vectores (NOM-079-FITO-2002), como medidas clave para reducir la dispersión y limitar el establecimiento del patógeno en nuevas áreas. Finalmente, el uso de diferentes niveles jerárquicos de análisis espacial permitió corroborar los resultados y contribuye a un mejor entendimiento de la dinámica de la epidemia, favoreciendo la toma de decisiones para el manejo de la enfermedad.

3.5 LITERATURA CITADA

- Amaral, L., Moraes, G.J., Melville, C.C., & Andrade, D.J. (2018). Factors affecting prevailing population levels of *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) in citrus areas affected by citrus leprosis in the State of Sao Paulo, Brazil. *Experimental and Applied Acarology*, 74, 395-402. <https://doi.org/10.1007/s10493-018-0239-x>.
- Bassanezi, R.B, Czermainski, A. B.C., Laranjeira, F. F., Moreira, A.S., Ribeiro-Junior, P.J., Krainski, E.T., & Amorim, L. (2019). Spatial patterns of the Citrus leprosis virus and its associated mite vector in systems without intervention. *Plant Pathology*, 68, 85–93. <https://doi.org/10.1111/ppa.12930>
- Bassanezi, R.B., & Laranjeira, F.F. (2007). Spatial patterns of leprosis and its mite vector in commercial citrus groves in Brazil. *Plant Disease*, 56, 97-106. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01457.x>
- Bastianel, M., Novelli V.M., Kitajima, E.W., Kubo, K.S., Bassanezi, R., Machado, M.A., & Freitas-Astúa, J. (2010). Citrus Leprosis: Centennial of an unusual mite-virus pathosystem. *Plant Disease*, 94(3), 284-292. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-3-0284>.
- Czermainski, A.B., Bassanezi, R.B., Laranjeira, F.F., & Amorim, L. (2007). Dinamica Temporal da Populacao do Ácaro *Brevipalpus phoenicis* e da Leprose dos Citros sob Condições Naturais de Epidemia. *Fitopatologia Brasileira*, 32, 295-303.
- Domínguez-Monge, S., Mora-Aguilera, G., Loeza-Kuk, E., Rivas-Valencia, P., Ruiz, P.G., Acevedo-Sánchez, G., Munguía, R., & Velázquez, T. (2010). Regionalización epidemiológica de la tristeza de los cítricos en la península de Yucatán. In V Reunión Nacional de Innovación Agrícola (pp. 334). Campeche, México.
- Domínguez-Monge, S., Pérez-Hernández, O., & Ivie, M. (2024). First report of the association of *Phloeonemus interruptus* with Persian Lime in central Veracruz, México. *Southwestern Entomologist*, 49(3), 1138-1142. <https://doi.org/10.3958/059.049.0333>
- Flores-Sánchez, J.L., Mora-Aguilera, G., Loeza-Kuk, E., López-Arroyo, J.I., Gutiérrez-Espinosa, M.A., Velázquez-Monreal, J.J., Domínguez-Monge, S., Bassanezi, R.B., Acevedo-Sánchez, G., & Robles-García, P. (2017). Diffusion model for describing the regional spread of huanglongbing form

- first-reported outbreaks and basing an area wide disease management strategy. *Plant Disease*, 101, 1119-1127.
- Gómez-Mercado, R., Santillán-Galicia, M.T., Guzmán-Franco, A.W., Valdovinos-Ponce, G., Becerril-Román, E.A., & Robles-García, P.L. (2019). Spatiotemporal associations between the mite *Brevipalpus yothersi* and citrus leprosis virus C in orange orchards. *Experimental and Applied Acarology*, 79, 69-86. <https://doi.org/10.1007/s10493-019-00409-w>.
- Kitajima, E.W., Chagas, C.M., & Rodrigues, J.C.V. (2003). Brevipalpus-transmitted plant virus and virus-like disease: cytopathology and some recent cases. *Experimental and Applied Acarology*, 30, 135-160.
- Kranz, J. (1974). Comparison of epidemics. *Annual Review of Phytopathology*, 12, 355-374.
- Localli, E.C., Freitas-Astúa, J., Alves, A., Aurelio, M., Astúa-Monge, G., Antonioli, R., Kitajima, E.W., & Machado, M.A. (2003). Development of a Molecular tool for the Diagnosis of Leprosis, a major threat to citrus production in the Americas. *Plant Disease*, 87, 1317-1321.
- Maldonado, W., Barbosa, J.C., Gregolin-Costa, M., Tiburcio, P.C., & Dos Antos, T.R. (2016). Spatial distribution and sequential sampling of *Brevipalpus phoenicis* in citrus. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452016085>
- Mora-Aguilera, G., Acevedo-Sánchez, G., Flores-Sánchez, J., Hernández, R., Gonzalez-Gómez, R., & Robles-García, P. (2014a). Regional Epidemiology: A new frontier and challenge in plant pathology. In 47° Congreso Brasileiro de Fitopatología (p. 6). Londrina, Paraná, Brasil.
- Mora-Aguilera, G., Robles-García, P., López-Arroyo, J.I., Flores-Sánchez, J., Acevedo-Sánchez, G., Domínguez-Monge, S., Gutierrez-Espinosa, A., Loeza-Kuk, E., & González-Gómez, R. (2014b). Situación Actual y Perspectivas del Manejo del HLB de los Cítricos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 32, 108-119.
- Morisita, M. (1959). Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns, *Memory of the Faculty of Science, Kyushu Univeristy, Series E*, 2, 215-235
- Real, L.A., & Biek, R. (2007). Spatial dynamics and genetics of infectious diseases on heterogeneous landscapes. *Journal of The Royal Society*, 4, 935-948. <https://doi.org/10.1098/rsif.2007.1041>.

- Rodrigues, J.C.V, Kitajima, E.W, Childers, C.C., & Chagas, C.M. (2003). Citrus leprosis virus vectored by *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae) on citrus in Brazil. *Experimental and Applied Acarology*, 30, 161-179. <https://doi.org/10.1023/B:APPA.0000006547.76802.6e>.
- Salinas-Vargas, D., Santillán-Galicia, M.T., Guzmán-Franco, A.W., Mora-Aguilera, G., Ortega-Arenas, L.D., Hernández-López, A., & Sánchez-Soto, S. (2019) Development and reproduction of *Brevipalpus yotheri* on ornage fruits infected with Citrus leprosis virus C. *International Journal of Acarology*, 45, 209-213. <https://doi.org/10.1080/01647954.2019.1586993>
- SENASICA Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2020a). Guía de síntomas de la Leprosis de los Cítricos. Consultado en <https://www.gob.mx/senasica/documentos/leprosis-de-los-citricos-105186>
- SENASICA. (2020b). Manual Operativo de la Campaña contra Plagas de Cítricos. Consultado en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/614759/Manual_operativo_Plagas_de_los_C_tricos.pdf
- SENASICA. (2023). Décimo informe mensual 2023, Campaña de Protección Fitosanitaria para Plagas de los Cítricos. Consultado en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/885844/11_Noviembre_Plagas_de_los_c_tricos.pdf.
- SENASICA. (2025). Informe anual Campaña de Protección Fitosanitaria Plagas de los Cítricos. Consultado en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1047858/Informe_Anual.pdf
- SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Consultado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Oliveira, F.J., Silva, P.R., Goncalves, A., Cassimiro, K., Rodrigues, V., & Bezzer, F.C. (2016). Distribuicao espacial da leprose dos citros na Amazonia Oriental. *Revista Ciencia Agronomica*, 47, 58-68.

CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron caracterizar molecular y epidemiológicamente al virus de la leprosis de los cítricos en la región centro-norte de Veracruz, confirmando al *Cilevirus leprosis* (CiLV-C) como el tipo viral predominante en la zona de estudio. Asimismo, se demostró que su distribución y comportamiento epidemiológico no son homogéneos, sino que están determinados por la interacción entre el hospedante, el ácaro vector *Brevipalpus* y las condiciones ambientales prevalecientes en la región.

La regionalización epidemiológica permitió identificar zonas con distintos niveles de inductividad de dispersión y establecimiento del CiLV-C, diferenciándose la zona centro como un escenario de alta actividad epidemiológica, donde el patógeno se encuentra establecido y en proceso continuo de dispersión, particularmente en los municipios de Misantla, Martínez de la Torre y Tlapacoyan. Por otra parte, la zona norte presentó condiciones favorables para el establecimiento del patógeno, debido a la amplia superficie sembrada con naranja dulce (hospedante susceptible) y la presencia del vector, aunque actualmente con menor desarrollo epidémico.

El análisis espacio-temporal demostró que la intensidad de la enfermedad está correlacionada con la estructura espacial de la epidemia, donde el incremento de las fuentes de inóculo y la actividad del vector favorecen la formación de focos de infección. La presencia de patrones agregados y uniformes evidenció un sistema epidemiológico activo y de carácter endémico, en el que se relacionan procesos de dispersión primaria e infección secundaria determinados por el vector. Asimismo, el uso integrado de índices de dispersión y herramientas geoestadísticas permitió comprender la dinámica espacial de la enfermedad.

En términos prácticos, los resultados de esta investigación proporcionan bases técnicas para fortalecer la toma de decisiones en campañas fitosanitarias dirigidas al manejo del CiLV-C. Con base en ello, se recomienda implementar estrategias diferenciadas según el nivel de riesgo epidemiológico de cada región.

En la zona centro, donde predomina un escenario de dispersión activa, es necesario fortalecer el control regional del vector, la eliminación sistemática y oportuna de la fuente de inóculo, así como la coordinación entre productores y los organismos auxiliares de sanidad vegetal para reducir la presión de inóculo y limitar la dispersión del patógeno.

En la zona norte, donde el CiLV-C aún presenta baja incidencia, pero existe riesgo potencial de establecimiento, se recomienda priorizar estrategias preventivas enfocadas en programas de monitoreo, detección oportuna y regulación del movimiento de material vegetal, herramientas e implementos agrícolas que puedan favorecer la dispersión del ácaro vector. Asimismo, se recomienda continuar con estudios epidemiológicos regionales que integren variables climáticas, poblacionales (vector) y de manejo, con el fin de fortalecer los sistemas de vigilancia epidemiológica y optimizar las estrategias contención y erradicación del CiLV-C en México.

.

APÉNDICES

Apéndice 1. Regionalización epidemiológica del CiLV

Características de los sitios de evaluación de CiLV

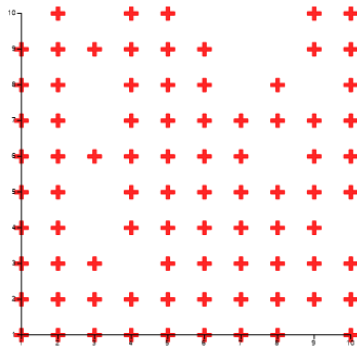
Siti os	Municipi o	Loc	Lat	Long	Edad	Esp	Patr	D.pl	Prod	Vig	M.Agr	M.Fito	HR	Pr	T°	Inc	I.V
1	Chicontepec	Chicontepec	21.12857	98.05458	<15	Valencia	Agrio	7x7	Buena	Bueno	Tradicional	Químico	79	0.1	20.6	0	3.2
2	Alamo	Horcones	21.04876	97.79546	>15	Valencia	Agrio	7x7	Buena	Bueno	Tradicional	Químico	79	0	22.7	0	3
3	Alamo	La Victoria	20.97353	97.63329	>15	Valencia	Agrio	7x7	Buena	Bueno	Tradicional	Químico	79	0	22.7	0	1.25
4	Misantla	Coapeche	20.10172	96.92638	<15	Valencia	Agrio	6x5	Buena	Bueno	Tradicional	Químico	83	2.57	19.5	6.31	2.3
5	Misantla	Coapeche	20.09951	96.9222	<15	Valencia	Agrio	7x5	Buena	Bueno	Tradicional	Químico	83	2.5	19.5	0	1.2
6	Mtz de la Torre	Loma de las flores	20.0156	97.0371	>15	Valencia	Agrio	6x4	Buena	Bueno	Tradicional	Químico	83	2.57	19.5	88.67	4
7	Atzacán	Novara	20.0281	97.09301	>15	Valencia	Agrio	6x6	Buena	Bueno	Tradicional	Químico	83	2.58	19.5	72.61	1
8	Papantla	El Cedral	20.25808	97.31047	>15	Valencia	Agrio	8x8	Buena	Bueno	Tradicional	Biológico	84	0.26	22.2	100	2.4
9	Coxquihui	Coxquihui	20.2653	97.4997	<15	Valencia	Agrio	7x7	Buena	Bueno	Tradicional	Químico	81	0.14	20.7	28.88	0.25
10	Espinal	Espinal	20.2474	97.4183	>15	Valencia	Agrio	7x7	Buena	Bueno	Tradicional	Químico	80	0.4	17.8	5.15	1.5
11	Papantla	El Edén	20.2745	97.31928	>15	Valencia	Agrio	6x6	Buena	Bueno	Tradicional	Químico	86	1.67	21.6	7.21	1.2
12	Mtz de la Torre	Arroyo del Potrero	20.12472	97.0647	<15	Valencia	Agrio	3x5	Buena	Bueno	Tradicional	Ninguno	76	0.27	20.9	97.6	0.6

Loc= Localidad; Lat=Latitud; Long= Longitud; Patr= Patrón; D. pl= Densidad de plantación; Prod= Productividad; Vig= Vigor; M. Agr= Manejo agroómico; M.Fito= Manejo fitosanitario; HR= Humedad relativa; Pr= Precipitación; T°= Temperatura; Inc= Incidencia; I.V= Infestación de vector.

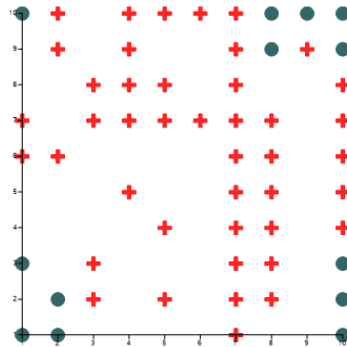
Apéndice 2. Patrón espacial del CiLV.

Características de las huertas para análisis del patrón espacial

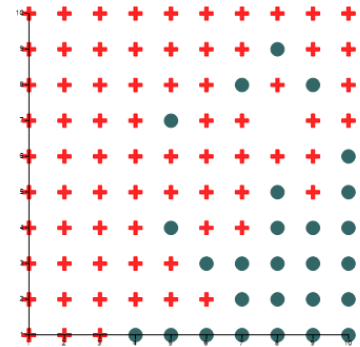
Martínez de la Torre



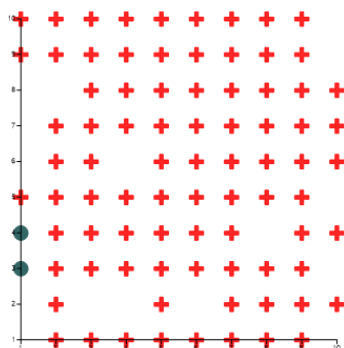
El Diamante



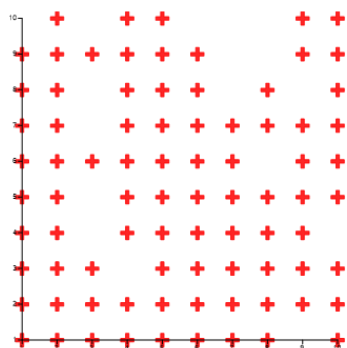
Arroyo del Potrero 1



El Cañizo

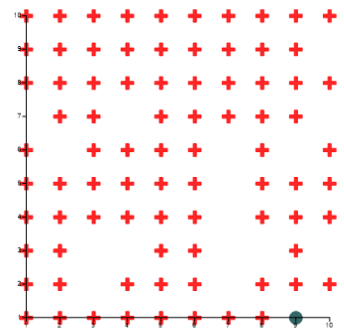


María de la Torre



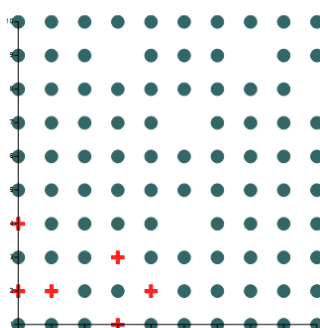
Arroyo del Potrero 2

Tlapacoyan



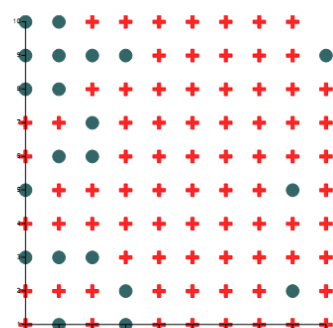
El Mezclero

Misantla



Coapeche

San José Acateno



Jiliapan L1

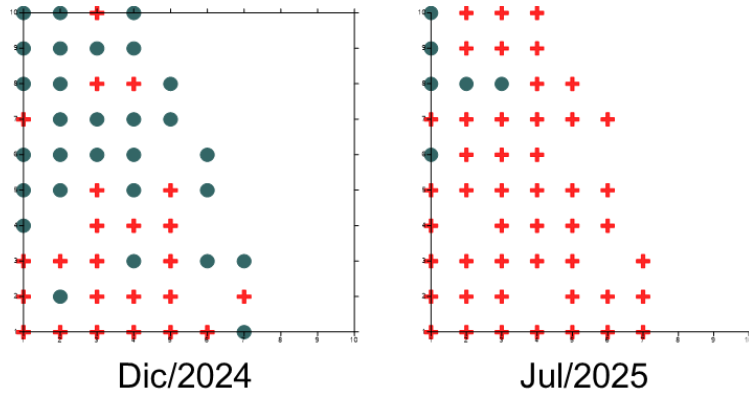
A 10x10 grid of points. The points are arranged in a regular pattern. There are 10 red crosses marking specific points: one at the bottom-left corner, one at the bottom-right corner, one at the top-left corner, one at the top-right corner, and six others forming a cross shape in the center of the grid.

80

Características de las huertas para análisis espacio-temporal.

-Mapa de clases de la huerta Loma de las Flores, ubicada en el municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, correspondientes a dos fechas de evaluación: A) diciembre de 2024 y B) Julio de 2025.

Loma de las Flores, Mtz de la Torre



-Mapa de clases de la huerta Miguel Alemán Valdez, ubicada en el municipio de Espinal, Veracruz, correspondientes a dos fechas de evaluación: A) octubre de 2025 y B) diciembre de 2025.

Miguel Alemán Valdez, Espinal

