



El Virus de la Tristeza de los Cítricos: Una revisión crítica de su biología, transmisión y control en la industria citrícola

The Citrus Tristeza Virus: A critical review of its biology, transmission and control in the citrus industry.

Ingrid Verónica Verano Téllez¹, Ligia Consuelo Sánchez Leal¹

RESUMEN

Introducción: El Virus de la Tristeza de los Cítricos (CTV) es una de las principales amenazas para la producción de cítricos a nivel mundial. El CTV pertenece a la familia *Closteroviridae* y al género *Closterovirus*. Se trata de un virus de ARN de cadena sencilla y polaridad positiva, con un genoma de 19,3 Kb. Su estructura es filamentosa, con una longitud cercana a los 2,000 nm y un diámetro de 11 nm. Se propaga mediante injertos contaminados y áfidos, siendo *Toxoptera citricida* el transmisor más eficiente. En *Citrus aurantium*, ocasiona deterioro progresivo, clorosis y muerte. También genera deformaciones en el tallo de ciertas variedades. Desde el siglo XIX, ha provocado la destrucción de millones de árboles. **Objetivo:** Proporcionar un análisis sobre la biología, transmisión y métodos de control biológico del CTV y la evaluación de las estrategias de control biológico, cuarentena vegetal y manejo de vectores para mitigar su impacto en la industria citrícola. **Métodos:** Se realizó una revisión sistemática de literatura en las bases de datos ScienceDirect, Scielo, PubMed y Google Académico. Se incluyeron artículos publicados entre 2000 y 2023 en español e inglés. Para la búsqueda, se emplearon palabras clave relacionadas con la biología, transmisión y control biológico del CTV. **Resultados:** Con el uso de hongos entomopatógenos y la cuarentena vegetal, el control biológico se perfila como una estrategia prometedora para mitigar el impacto del CTV. Los métodos tradicionales como el control químico de insectos y la erradicación de árboles infectados han resultado insuficientes para frenar la diseminación del virus y presentan riesgos ambientales con repercusiones en la salud humana. Se destaca la importancia de enfocar los esfuerzos en el diagnóstico y manejo de los principales vectores responsables de la propagación del virus. **Conclusión:** El control biológico, mediante el uso de hongos entomopatógenos y otras estrategias avanzadas, representa una alternativa sostenible y eficaz para el control del CTV. Sin embargo, su éxito depende de factores ambientales y su compatibilidad con otros métodos de control. Para garantizar su eficacia y minimizar riesgos ecológicos, es esencial un monitoreo continuo y un enfoque integral que equilibre beneficios y desafíos, promoviendo así una agricultura más segura y sostenible. **Palabras clave:** América, cítricos, Citrus Tristeza Virus (CTV), control biológico, vectores.

¹ Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Recepción: 04/09/2024. Aceptación: 13/05/2025

Cómo citar este artículo: Verano Téllez IV, Sánchez Leal LC. The Citrus Tristeza Virus: Una revisión crítica de su biología, transmisión y control en la industria citrícola. Hechos Microbiol. 2024;15(2):. DOI: 10.17533/udea.hm.v15n2a04

ABSTRACT

Introduction: The Citrus Tristeza Virus (CTV) is one of the main threats to citrus production worldwide. It belongs to the family *Closteroviridae* and the genus *Closterovirus*. It is spread by contaminated grafts and aphids, with *Toxoptera citricida* being the most efficient transmitter. In *Citrus aurantium*, it causes a progressive deterioration, chlorosis, and death. It also generates deformations in the stem of certain varieties. Since the nineteenth century, it has led to the destruction of millions of trees. **Objective:** To provide an analysis on the biology, transmission and biological control methods of the Citrus Tristeza Virus (CTV), and evaluate the biological control, plant quarantine and vector management strategies to mitigate their impact on the citrus industry. **Methods:** A systematic literature review was conducted in the ScienceDirect, Scielo, PubMed, and Google Scholar databases. Articles published between 2000 and 2023 in Spanish and English were included. Keywords related to the biology, transmission and biological control of the CTV were used for the search, including terms such as. **Results:** The use of entomopathogenic fungi and plant quarantine, is emerging as a biological control promising strategy to mitigate the impact of CTV. Traditional methods such as chemical insect control and eradication of infected trees have proved insufficient to halt the spread of the virus and pose environmental risks with implications for human health. This emphasizes the importance of focusing efforts on the diagnosis and management of the main vectors responsible for the spread of the virus. **Conclusion:** Biological control, using entomopathogenic fungi and other advanced strategies, represents a sustainable and effective alternative for managing CTV. However, its success depends on environmental factors and its compatibility with other control methods. To ensure its effectiveness and minimize ecological risks, conti-

nuous monitoring and a comprehensive approach that balances benefits and challenges are essential, thus promoting safer and more sustainable agriculture.

Keyword: America, citrus, Citrus Tristeza Virus (CTV), biological control, vectors.

Introducción

La producción mundial de cítricos alcanzó 158,5 millones de toneladas en 2021, con Asia como principal región productora. Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), en el 2024, la producción actual cayó a 102,6 millones, liderados por Brasil y China. En 2021, Colombia produjo 1.450.071 toneladas de cítricos [1] .

La citricultura, presente en más de 140 países, juega un papel crucial en la economía mundial. Para el 2023 y el 2024, se esperaba que la producción global de naranjas y mandarinas creciera en 1,2 millones de toneladas, alcanzando 38,2 millones, gracias a condiciones climáticas favorables en China y Turquía. No obstante, la producción total de cítricos disminuyó un 3%, quedando en 1,5 millones de toneladas, debido a la reducción de la oferta en Brasil, lo que impacta el consumo y las exportaciones [2] .

Dentro de los agentes causantes de enfermedades de importancia económica, los virus son agentes patógenos que dependen de un hospedante para sobrevivir. Algunos Fitovirus se transmiten por insectos, nematodos, ácaros o por el intercambio de material vegetal [3]. Entre las principales enfermedades virales de los cítricos se incluyen la leprosis y el virus de la tristeza de los cítricos (Citrus Tristeza Virus o CTV) [3] . Dentro de los síntomas causados por el CTV se encuentra la producción de estructuras anómalas como las excrecencias de las venas, las agallas y amarillamiento de las hojas.

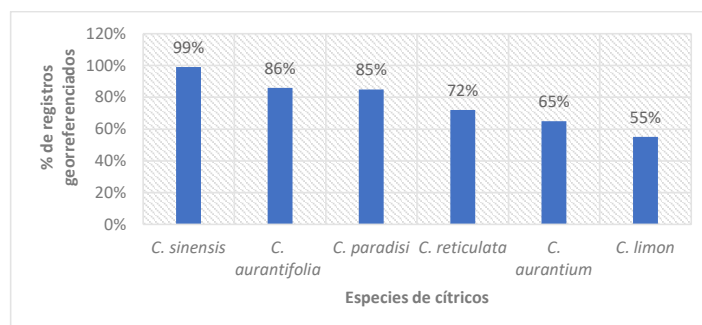


Figura 1. Porcentaje de especies cítricas hospedantes más georreferenciadas.

Las patologías causadas por estos virus suponen riesgos considerables que afectan notablemente tanto la cantidad como la calidad de la producción agrícola. Entre las especies cítricas hospedantes más georreferenciadas, el 98,8% corresponde a *C. sinensis*, seguido de *C. aurantifolia* (85,7%), *C. paradisi* (85,5%), *C. reticulata* (72,0%), *C. aurantium* (71,4%) y *C. limon* (55,0%). Estos porcentajes reflejan el nivel de georreferenciación dentro de cada especie, por lo que no representan proporciones relativas entre especies ni deben sumar 100%. (**Fig. 1**).

El CTV pertenece al género *Closterovirus*, se caracteriza por un filamento flexible con una longitud de 2000 nm y un diámetro de 12 nm aproximadamente. Su genoma consiste en ARN de cadena simple con sentido positivo, extendiéndose a lo largo de aproximadamente 20 Kb. Su genoma incluye 12 marcos de lectura abierta (ORFs) y dos regiones no traducidas [4].

El CTV es considerada la enfermedad más devastadora para la producción de cítricos a nivel global y, ha causado la muerte de millones de árboles en diversas regiones durante la última década. El CTV no solo debilita y mata a los árboles afectados, sino que también genera pérdidas económicas significativas [5].

Desde su identificación en el siglo XIX, el CTV ha sido un desafío persistente para la industria cítrica, poniendo en riesgo la viabilidad económica de muchas empresas. Ante el desafiante panorama descrito, esta revisión se propone explorar principalmente el control biológico utilizando microorganismos fúngicos entomopatógenos tales como: *Isaria fumosorosea* (antes *Paecilomyces fumosoroseus*), *Lecanicillium lecanii* (antes *Verticillium lecanii*) y *Beauveria bassiana*, y la cuarentena vegetal como estrategias de control de insectos vectores como respuesta a la enfermedad ocasionada

por el CTV. Esto surge debido a que los métodos tradicionales de manejo, como lo son el control químico de los insectos vectores y la erradicación de árboles infectados, han resultado inadecuados para contener la propagación del CTV y mitigar su impacto. Además, el uso excesivo de pesticidas conlleva a riesgos adversos para el medio ambiente y la salud humana. Por lo tanto, resulta crucial un enfoque diagnóstico y el control de insectos vectores responsables de su transmisión, los que incluyen a *Aphis gossypii*, *Aphis spiraeicola*, *Toxoptera aurantii* y *Toxoptera citricida*.

En los cítricos, la transmisión viral más común es por injerto en plantas hospedantes de las cepas CTV T3, T30, T36 y VT. Los primeros estudios genómicos revelaron diferencias marcadas entre las cepas T36 (Florida), VT (Israel) y T30 (España), evidenciando la existencia de al menos dos grandes linajes evolutivos. A lo largo del tiempo se han identificado tres cepas adicionales T3, RB y T68 [6].

La transmisión a través de vectores ocurre de manera predominantemente pasiva a través de áfidos (pulgones), caracterizado por un proceso de difusión lenta; el pulgón negro *Toxoptera citricida*, es el vector más notable debido a su alta eficiencia en la propagación. En Argentina, este insecto es endémico. Otros vectores incluyen los áfidos, *Aphis gossypii*, *Aphis spiraeicola* y *Toxoptera aurantii*; este último presente en los Estados Unidos. En condiciones de laboratorio, se recurre a la transmisión vía injerto y el uso de insectos como herramientas para estudiar el virus. Se han explorado otras formas de transmisión en condiciones controladas, aunque no se han observado en la naturaleza, como lo es la transmisión mecánica, que implica el contacto directo entre plantas infectadas y plantas sanas, a través de herramientas contaminadas o mani-

pulación manual. Durante gran parte de la historia, la entrada de plantas cítricas se limitó al uso de semillas, lo que impidió la diseminación del CTV, ya que no es transmisible por polen o semillas [6].

Esta revisión se realizó tomando en cuenta la problemática del virus en las Américas, con un enfoque específico en regiones críticas como California y Florida en América del Norte, México y otros países centroamericanos, así como Colombia, Brasil, Argentina y Chile en América del Sur. Se utilizaron diferentes bases de datos a saber: ScienceDirect, Scielo, Pubmed y Google Académico; se realizó un análisis exhaustivo del estado actual de las investigaciones relacionadas con la enfermedad provocada por el CTV, se revisaron publicaciones pertinentes que abordaban este tema, así como el comportamiento de las medidas de control.

Metodología

Para abordar este estudio, se realizó una revisión bibliográfica siguiendo los criterios PRISMA. Se consultaron bases de datos como ScienceDirect, Scielo, PubMed y Google Académico, considerando publicaciones en español e inglés entre los años 2000 y 2024. Se emplearon palabras clave como “Hospedantes Citrus Tristeza Virus”, “Reservorios Citrus Tristeza Virus”, “Biocontroladores Citrus Tristeza Virus” y “Modo de

transmisión de reservorios Citrus Tristeza Virus”. Se seleccionaron artículos de revisión e investigación que abordaran la biología, transmisión y control biológico del virus de la tristeza de los cítricos. Se recopilaron datos sobre biocontroladores identificados, variables biológicas del virus y características de los reservorios. Se excluyeron estudios fuera del rango temporal, publicaciones sin información relevante y duplicados. La elección final se realizó en función de la importancia del contenido y la disponibilidad del texto.

Resultados

Con base en los criterios de búsqueda definidos, se encontraron un total de 328 publicaciones entre los años 2000 y 2024. (PubMed: 42, Google Académico: 145, Scielo 27 y ScienceDirect: 114). Se evaluaron las publicaciones con base en el título y resumen; se eliminaron 225 publicaciones, debido a que no cumplían con los criterios de inclusión formulados, con base en la pregunta de investigación del estudio. Las 103 publicaciones restantes, se seleccionaron para lectura de texto completo. Posterior a la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, se descartaron 3 publicaciones, dejando finalmente un total de 100 publicaciones científicas para realizar esta revisión comprendidas entre los años 2000 a 2024 (**Fig. 2**).

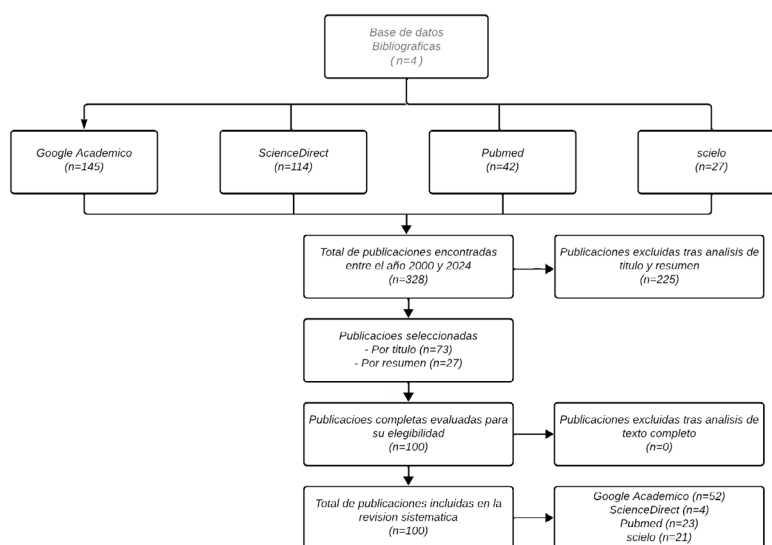


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de identificación y selección de publicaciones incluidos en la revisión sistemática.

La revisión de la literatura revela que gran parte de los estudios publicados fueron divulgados en los años 2021 y 2022 con un 19%, y en los años 2017 y 2023 con 15 %. Para el año 2003 no se identificaron publicaciones que cumplieran con los criterios de selección. La distribución geográfica de las publicaciones fue la siguiente: América del Norte 29,54%,

América central 31,78% y América del Sur 14,7%. El 23,98% restante corresponde a estudios que no especificaron región geográfica o que fueron realizados en otras áreas como Europa, Asia y África, pero que se incluyeron por cumplir con los demás criterios de elegibilidad del tema y año de publicación. (Figs. 3 y 4).

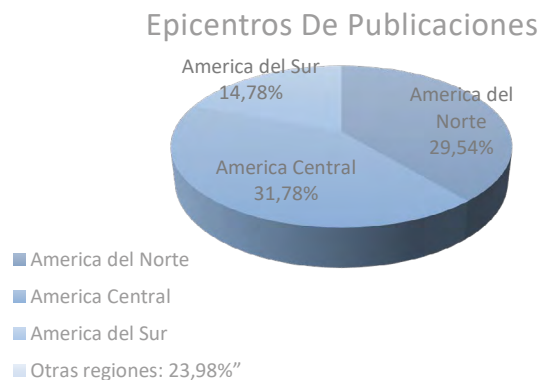


Figura 3. Porcentaje de publicaciones por año y ubicación geográfica.

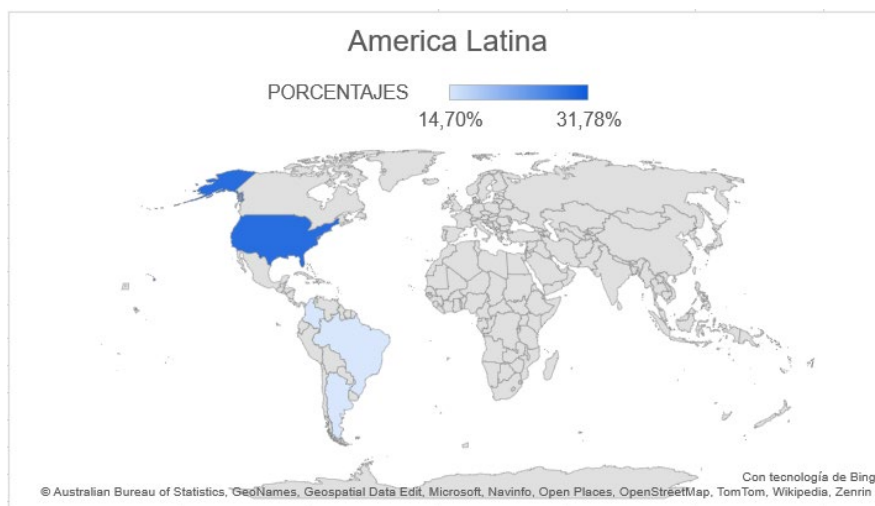


Figura 4. Ubicación geográfica de las publicaciones analizadas en este estudio.

En los artículos analizados, se identificaron 17 especies de plantas hospedantes de cultivos de cítricos que tienen principalmente afectación en América Latina por algunas de las cepas de CTV T3, T30, T36 y VT, y comúnmente en regiones críticas como California y Florida en América del Norte, México y países centroamericanos, así como Colombia, Brasil,

Argentina y Chile en América del Sur. En la **Tabla 1** se describen las especies de plantas hospedantes de cultivos infectadas con el CTV.

Las variedades *Citrus sinensis* y *C. aurantifolia*, con 15 publicaciones cada una, son las más comúnmente afectadas por el CTV, seguidas por *C. Limon* con 10 publicaciones, y *C. reticulata* y *C. aurantium* con siete pu-

blicaciones cada una. Finalmente, *C. paradisi* con tres publicaciones. Cabe aclarar, que dentro de la clase de cítricos más afectada por CTV se encuentran las variedades de naranja *C. valencia*, *C. pera*, Naranjos 'Marrs', *C. Volkameriana* y *C. Washington Navel* [7-20] Haga clic o pulse aquí para escribir texto., y en el caso de los limones se incluyen *C. latifolia* y *C. aurantifolia* [21-34].

En uno de los estudio se analiza la capacidad del CTV para influir en los factores del hospedero y así llevar a cabo su ciclo infeccioso y evadir las defensas de la planta. Además, se discute cómo estas interacciones están relacionadas con los síntomas y la patogénesis de la enfermedad. Estos aspectos reflejan la complejidad de las interacciones entre el CTV de los cítricos, especialmente de los cultivos de limón y naranjo [35].

Por otro lado, otros autores describen que la cepa T3 causa hendiduras en troncos y ramas; también puede generar un estado de declinación en la planta, evidenciado por hojas cloróticas, frutos con deformaciones estructurales y una marcada reducción en el desarrollo vegetativo. En el caso de la cepa T30 CTV, se caracteriza por inducir síntomas leves o incluso ser

asintomática en la mayoría de las especies cítricas; sin embargo, provoca decaimiento, con árboles debilitados que eventualmente pueden morir. En cuanto a la cepa T36-CTV, se destaca por su alta virulencia y capacidad para causar síntomas severos, impactando el rendimiento y calidad de la cosecha frutal, lo que resulta en pérdidas económicas para los productores. Por último, la cepa VT-CTV también puede provocar síntomas notables que afectan la productividad de los árboles de cítricos. Las publicaciones que solo se limitaron a la identificación de cultivos de cítricos afectados por el CTV, se agruparon con los estudios en los que no fue posible definir una cepa específica [30, 34] (**Tabla 1**).

Se identificaron un total de 17 variedades de cítricos hospedantes de CTV afectados por las cepas T3, T30, T36 y VT en cultivos de cítricos, distribuidas en seis especies (**Tabla 1**). Las especies de plantas reportadas se constataron con la plataforma Natusfera, con la finalidad de que la información georreferenciada permitiera cartografiar la distribución de las especies y examinar las tendencias de biodiversidad en las diferentes regiones.

Tabla 1. Plantas hospedantes infectadas por el CTV identificadas en las publicaciones analizadas en el presente estudio.

Especies	Variantes	Referencias
<i>Citrus sinensis</i>	<i>C. Valencia</i>	[7- 12] Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
	<i>C. Pera</i>	[14, 15]
	Naranjos 'Marrs'/ <i>C. Volkameriana</i>	[16, 17] Haga clic o pulse aquí para escribir texto.
	<i>C. Washington Navel</i>	[15 - 20]
<i>Citrus limon</i>	<i>C. Eureka</i>	[35 - 38]
	<i>C. Lisboa</i>	[39 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto.41]
	<i>C. Meyer</i>	[42 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto.44]
<i>Citrus aurantium</i>	Naranja Agria	[45 -Haga clic o pulse aquí para escribir texto. 51]
<i>Citrus reticulata</i>	<i>C. Clementina</i>	[52- 55]
	<i>C. Tangelo</i>	[56, 57]
	<i>C. Tangerina</i>	[58]
<i>C. paradisi</i>	<i>C. Ruby Red</i>	[59, 60]
	<i>C. Thompson</i>	[61]
<i>C. aurantifolia</i>	<i>C. Tahiti</i>	[5, 21- Haga clic o pulse aquí para escribir texto.Haga clic o pulse aquí para escribir texto. 29]
	<i>C. Mexican</i>	[30- 32]
	<i>C. Bearss</i>	[33]
	<i>C. Key Lima</i>	[34]

En la **Tabla 2** se describen las especies de cítricos afectadas, la ubicación geográfica y los principales vectores de CTV reportados en América Latina. La especificidad de las especies se manifiesta de manera distintiva hacia su hospedero y vectores característicos. Por ejemplo, *Toxoptera citricida* transmite el CTV a todas las especies de cítricos de la familia Rutaceae, causando síntomas característicos que incluyen deformación, retraso en el crecimiento, coloración amarillenta en las hojas, producción reducida en el fruto y muerte regresiva en árboles como naranjos, limones, mandarinas y pomelos; este vector ha sido altamente eficiente y especializado en la transmisión de la mayoría de las cepas de CTV a tasas superiores a otros pulgones. La transmisión implica un período de adquisición variable de unos pocos segundos hasta 30 minutos, con un período de inoculación posterior a 4 o 6 horas [62].

Del mismo modo, se ha reportado que la infección transmitida por *T. citricida* resulta en la mortalidad de cientos de millones de árboles cítricos en países como Argentina, Brasil, México y Estados Unidos [63]. Es un vector clave en la transmisión del CTV mediante su aparato bucal picador chupador; la fuente nu-

tricional de este vector se basa en la absorción de la savia elaborada por las plantas, obtenida del floema infectado y transmiten el virus a través de su saliva cuando se alimentan en otras plantas sanas. Al igual que en *T. citricida*, todos los reportes de transmisión por otros pulgones como *Aphis gossypii*, *A. spiraecola* y *T. aurantii*, se caracterizan por ser semipersistentes y no circulatorios, con intervalos de adquisición y tasas de transmisión altamente variables.

La eficacia de transmisión por estos pulgones varía dependiendo de la especie de pulgón y la cepa viral. La interacción entre los genotipos virales, como T30 y T36, es fundamental para una transmisión eficaz del virus por los pulgones. Estudios recientes han encontrado cómo la diversidad genética afecta la transmisión del virus por vectores, develando información valiosa sobre la interacción CTV-vector [64], dado a que la eficiencia de dispersión del vector está intrínsecamente vinculada a la propagación de la enfermedad, junto con otros factores. La transmisión de patógenos vegetales por vectores como los pulgones resulta esencial para comprender y controlar enfermedades vegetales devastadoras.

Tabla 2. Especies de cítricos afectadas por el CTV reportadas en América Latina.

Especie	Vector	Variedad	Distribución Geográfica	Referencias
<i>C. sinensis</i>	<i>T. citricida</i>	Naranja Dulce 'Valencia'	México	[49, 65]
	<i>T.citricida</i> <i>T. aurantii</i>	Naranja Dulce 'Pêra'	Brasil	[66- Haga clic o pulse aquí para escribir texto. 68]
	<i>A. gossypii</i>	Naranjas Washington Navels	Estados Unidos	[69, 70]
	<i>T. citricida</i> , <i>A. gossypii</i>	Naranjo Marrs	México	[16]
<i>C. aurantium</i>	<i>T. citricida</i>	Naranja Agria	Estados Unidos	[71, 72]
<i>Citrus limon</i>	<i>T. citricida</i> , <i>A. gossypii</i>	Limones Meyer		[43]
<i>C. paradisi</i>	<i>T. citricida</i>	Pomelo	Estados Unidos	[73]
<i>C. aurantifolia</i>	<i>T. citricida</i>	Lima ácida Tahití	Colombia	[74]
	<i>T. citricida</i>	Lima ácida Tahití	México	[29]
	<i>A. gossypii</i>	Lima Mexicana	Chile	[30, 75]
	<i>A. gossypii</i>	Lima Mexicana	Estados Unidos	[76]
	<i>A. gossypii</i> , <i>A. spiraecola</i> , <i>T. aurantii</i>	Lima Mexicana	México	[77]

El CTV constituye un riesgo considerable para las cosechas de cítricos, ya que la eficiencia de transmisión por diferentes especies de pulgones, especialmente *A. gossypii*, *A. spiraecola* y *T. aurantii* está influenciada por la interacción entre las distintas cepas de CTV. Ciertas cepas como T30 y T36, entre otras, exhiben diversidad genética, lo que impacta las tasas de transmisión [71]. De igual manera, el estudio actual busca analizar como la variación genética del CTV juega un papel crucial en su interacción con los vectores, influenciando la eficiencia de la transmisión. Estudios sobre estas interacciones son esenciales para comprender cómo diferentes cepas del virus pueden afectar la dinámica de la transmisión y la propagación de la enfermedad en diferentes regiones. Estos estudios proporcionan información crucial para el desarrollo de estrategias de manejo y control del CTV productor de enfermedades en los cítricos. Conocer la relación entre los vectores y la ubicación geográfica, en América Latina, ayudarán a comprender cómo influye la ubicación (Fig. 5). En los artículos analizados se confirma la alta prevalencia del CTV en plantaciones de cítricos en las Américas, lo que ha llevado a un análisis detallado de estudios e investigaciones sobre este tema. Este virus, que afecta a una amplia variedad de especies de cítricos, representa una preocupación significativa para los productores en la región. La prevalencia varía según diversos factores, como las condiciones climáticas, la gestión agrícola y la presencia de vectores de enfermedades. Por tanto, comprender la prevalencia del CTV es crucial para implementar estrategias efectivas de manejo y control que ayuden a proteger las plantaciones de cítricos y garantizar la seguridad de la producción en las Américas [63].

Por otro lado, se ha observado un fenómeno de mortandad masiva de millones de árboles de cítricos en diversas regiones, incluyendo Brasil, Argentina, California, Florida, España y Sudáfrica. En México, se ha confirmado la detección del CTV y su vector, *T. citricida*, en 20 estados cultivadores de cítricos, con registros alarmantes de casos positivos, como los 150 árboles detectados en Tamaulipas. Además, se estima que el 80% de los campos de cítricos en México emplean el naranjo agrio como portainjerto, lo que incrementa considerablemente el riesgo de pérdidas económicas asociadas a esta enfermedad [78]. La prevalencia del CTV también es preocupante en Colombia, donde

ha emergido como el principal flagelo detectado en el género de los cítricos. Su propagación, facilitada por pulgones, especialmente *T. citricida*, ha alcanzado proporciones alarmantes en diversas zonas del país. Estudios revelan una incidencia importante del virus, con cifras que llegan hasta un 95% en ciertas áreas, según detecciones realizadas mediante técnicas como ELISA. La industria cítrica colombiana se enfrenta a desafíos fitosanitarios que comprometen su sostenibilidad y productividad, siendo esta enfermedad una amenaza importante. La presencia, cada vez más notoria, de cepas agresivas del virus ha sido detectada en la mayoría de las regiones colombianas, lo que provoca un deterioro acelerado y acanaladuras en el tallo en los cítricos injertados [74]. Este panorama suscita interrogantes urgentes de explorar la sostenibilidad y la resiliencia de la industria a largo plazo y subraya la necesidad imperiosa de implementar estrategias de control y gestión efectivas para hacer frente a esta creciente crisis fitosanitaria.

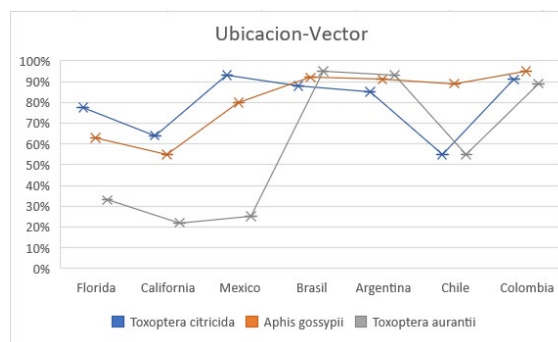


Figura 5. Distribución de vectores del CTV en América Latina.

SINTOMATOLOGÍA DEL VIRUS DE LA TRISTEZA (CTV)

Los síntomas causados por CTV aparecen rápidamente después del injerto con tejido de árboles infectados, lo que provoca una rápida decadencia de las plantas. Además, se ha observado la transmisión de la enfermedad de las plantas infectadas a las sanas a través del pulgón café de los cítricos *T. citricida*. La variedad de síntomas asociados con el CTV incluye: la muerte regresiva de los citrus, aclaramiento de nervaduras en las plántulas infectadas, y en América latina, se ha documentado la presencia de acanaladuras en el tallo de pomelos y naranjos dulces, así como problemas de

incompatibilidad en patrones de naranjo agrio en determinadas regiones. Estos síntomas han sido reportados en países productores de cítricos como Brasil, Argentina y EE.UU. [79].

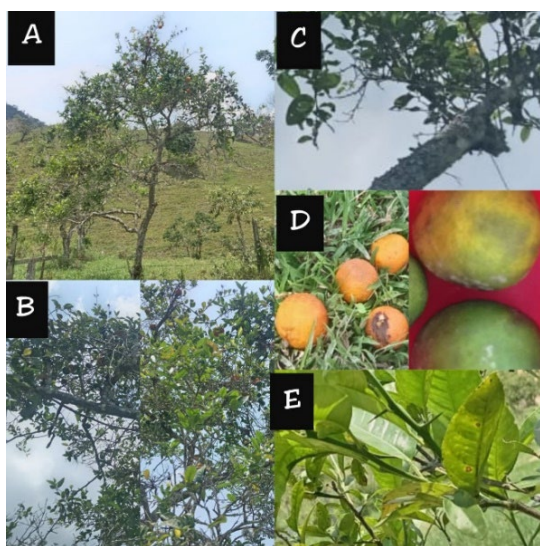


Figura 6. Sintomatología de CTV en citrus: (A) Manifestación de declive en citrus, (B) Etapas de deterioro en citrus, (C) Picaduras en el tallo de un citrus, (D) CTV en frutos cítricos, (E) Efectos de CTV en hojas de Citrus.

En Colombia, el CTV podría haber sido introducido por medio de material de propagación del limón Meyer. Se ha extendido por la mayoría de las regiones del país con la ayuda del áfido *T. citricida*, reconocido como el vector más eficiente. El virus afecta principalmente a naranjos dulces, pomelos o toronjas, y lima ácida Tahiti; provoca casos severos con acanaladuras en la madera y reducción del tamaño de la fruta, incluso en cultivos tolerantes [80]. La falta de estudios detallados sobre la presencia y el impacto del virus en el país indica una amenaza persistente, especialmente con la presencia de cepas severas de tristeza y la amplia dispersión del vector *T. citricida*. El virus es capaz de infectar casi todas las especies, variedades e híbridos de cítricos, con una sensibilidad particular en aquellos injertados en naranjo agrio (*C. aurantium* L.).

El proceso de infección de la planta implica movimientos tanto a corta como a larga distancia entre células, facilitados por proteínas virales y transporte pasivo a través del floema, respectivamente. Aunque la velocidad y la concentración del virus varían según los aislamientos y la edad de la planta, generalmente se

presenta un patrón de movimiento sistémico dentro de la planta, desplazándose desde los puntos de infección como las hojas o los tejidos vasculares aéreos hacia otras partes, incluyendo las raíces [79].

Los tres síndromes inducidos por cepas del CTV comprenden un conjunto de síntomas. El síndrome de declinación asociado conocido como tristeza se expresa mediante un deterioro fisiológico progresivo del hospedero, caracterizado por necrosis floemática, acanaladuras en tejidos leñosos (stem pitting) y clorosis foliar en plántulas. Estas respuestas sintomatológicas están moduladas por factores como la interacción genotípica entre el cultivar cítrico y el portainjerto utilizado en la propagación vegetativa. El síndrome de declive rápido (quick decline) se observa en naranjos dulces propagados sobre portainjertos de naranja agria, mostrando un deterioro acelerado en comparación con árboles no afectados. Las acanaladuras en tallos, especialmente visibles en portainjertos de *Poncirus trifoliata*, causan acanaladuras en la madera y reducen el tamaño de la fruta. Las plántulas de naranja agria inoculadas con aislados de CTV muestran crecimiento atrofiado, hojas amarillas y un sistema de raíces reducido. El síndrome (Stem pitting) generalmente no conduce a la muerte de los árboles, pero causa un crecimiento deficiente y reducciones crónicas en el rendimiento, particularmente afectando a limas ácidas, pomelos y algunas variedades de naranja dulce [45].

Por otro lado, el síndrome SY (seedling yellows) se caracteriza por retraso en el crecimiento, síntoma de desarrollo de hojas cloróticas y de tamaño reducido y un sistema de raíces reducido en plántulas de naranja agria, pomelo o limón. Estos síntomas son preocupantes debido al impacto económico significativo que representan para la industria cítrica en diferentes países de la región. Algunas investigaciones sugieren que cada síndrome está asociado con determinados patrones genéticos en el genoma del CTV, lo que subraya la complejidad y la importancia de comprender la interacción entre el virus y los cítricos [81].

Por lo tanto, la distribución sistémica del virus en la planta está restringida al sistema vascular; no puede iniciar su infección en cualquier tejido, sino que necesita ser introducido en el floema. Generalmente, las afecciones virales se originan en las hojas, al ser los órganos más accesibles a los agentes transmisores. Luego, los virus se diseminan por toda la planta,

logrando la infección sistémica. La expresión de los síntomas depende del tipo de aislamiento, condiciones ambientales, variedad cultivada, patrón y tiempo de infección. La infección por CTV se transmite principalmente por injerto, lo que facilita su propagación a largas distancias a través del movimiento de material vegetal infectado. Algunos de estos síntomas comunes incluyen la degradación del sistema vascular y la reducción de la producción. Esto se manifiesta como reducción en las dimensiones y las características organolépticas de la cosecha, la deformación de las hojas, la clorosis foliar y, eventualmente, la muerte de las plantas infectadas [82].

Los métodos empleados para la identificación de CTV en cultivos de cítricos contemplan técnicas moleculares como la RT-PCR o la qPCR, la cual es altamente específica y sensible, y permite la detección de CTV a niveles muy bajos. Adicionalmente, entre las técnicas basadas en inmunoensayos, se encuentra la ELISA, un método ampliamente utilizado debido a su costo relativamente bajo y la facilidad de su uso para la detección masiva. En el 16,6% del total de las publicaciones, se usaron técnicas basadas en inmunoensayos para la identificación del CTV, en las publicaciones restantes, correspondientes al 83,4 % aproximadamente, se usaron técnicas moleculares.

Discusión

El análisis de la detección y control del virus de la tristeza en cítricos requiere revisar diversas técnicas de identificación y su relevancia en distintos contextos. Este análisis es fundamental para asegurar una detección y control eficientes de la enfermedad en los cítricos. Entre las metodologías más utilizadas se encuentra la qRT-PCR, que se emplea en aproximadamente el 83,4% de los casos gracias a su alta especificidad y sensibilidad. Asimismo, la técnica de ELISA, utilizada en un 16,6% de los casos, es conveniente por su costo relativamente bajo y su capacidad para pruebas a gran escala [52]. Otras técnicas incluyen la hibridación molecular y las pruebas rápidas de inmunocromatográfica, cada una con sus ventajas y desventajas. Además, se utilizan métodos como la clonación y secuenciación del cDNA, hibridación *in situ*, amplificación isotérmica mediada por bucle (LAMP), inmunofluorescencia

indirecta, pruebas biológicas y análisis serológico. Aunque estas técnicas son menos utilizadas, resultan valiosas para estudios dirigidos y para la confirmación de diagnósticos en condiciones controladas, como las de invernadero [83].

Debido a que el control biológico, se emplea para reducir los grupos de organismos perjudiciales; actualmente, se reconocen tres estrategias principales para desarrollar programas de control biológico. La primera es el control biológico clásico, que implica la importación de enemigos naturales desde la región de origen de la plaga; la segunda estrategia es el control biológico aumentativo, que consiste en incrementar transitoriamente y de manera artificial la cantidad o actividad de los enemigos naturales para lograr el control biológico; y finalmente, la tercera estrategia consiste en el manejo biológico mediante conservación, la cual busca potenciar o favorecer la intervención de la fauna beneficiosa nativa [84].

Con relación al control biológico de las enfermedades en los cítricos afectados por el CTV, el objetivo es disminuir los principales vectores responsables de su transmisión. Este control hace parte de un proceso del uso de hongos entomopatógenos utilizados para el control de plagas en el sector agrícola como lo son *Isaria fumosorosea* (antes *Paecilomyces fumosoroseus*), *Beauveria bassiana* y *Lecanicillium lecanii* (antes *Verticillium lecanii*), un grupo crucial en el manejo biológico de plagas de insectos. Casi todos los insectos son vulnerables a las enfermedades provocadas por estos hongos. Dentro de los mecanismos de control por estos patógenos, inicialmente las esporas se adhieren a la superficie del insecto, generalmente a su cutícula, gracias a proteínas y sustancias hidrofóbicas que facilitan esta unión. Una vez adheridas, las esporas germinan y sus hifas comienzan a penetrar el exoesqueleto del insecto, un proceso mediado por enzimas como quitinasas, que degradan la cutícula [61]. Tras la penetración, las hifas se expanden en el interior del insecto, colonizando sus órganos internos y el hemolinfa, donde obtienen nutrientes. Durante este proceso de invasión, los hongos producen toxinas y metabolitos secundarios que afectan la fisiología del insecto, alterando su sistema nervioso y metabólico. Como resultado, el insecto muere generalmente en un plazo de 3 a 7 días. Este proceso hace que los hongos entomopatógenos sean efectivos en el control de plagas, como *T. citricida*. Inicialmente,

los síntomas de la infección pueden ser imperceptibles, pero el insecto afectado empieza a mostrar una disminución en movilidad y apetito. Finalmente, en un período aproximado de siete días, el insecto muere debido a la falta de nutrientes [84, 85].

Beauveria bassiana es un hongo entomopatógeno ampliamente investigado por su efectividad en el control de diversas plagas, como el pulgón marrón de los cítricos, *T. citricida* [86]. En uno de los estudios, se demostró que la aplicación de *B. bassiana* en condiciones de campo redujo significativamente las poblaciones de *T. citricida*, alcanzando una eficacia de control comparable a la de insecticidas químicos. La efectividad del hongo está influenciada por las condiciones ambientales, especialmente la temperatura y la humedad, que favorecen su germinación y penetración, aumentando su eficacia contra los pulgones [87].

Para el caso de *Lecanicillium*, durante el proceso de infección, iones como Ca^{+2} y Mg^{+2} ayudan a reducir la repulsión electrostática en la superficie del insecto, lo que puede modificar su hidrofobicidad y facilitar la unión entre la pared celular del hongo y la cutícula del insecto, creando condiciones favorables para la germinación de la espora y la subsecuente invasión del hospedero [85]. El hongo actúa sobre el insecto liberando enzimas extracelulares que descomponen su cutícula y lo protegen contra las defensas tóxicas del insecto. La germinación del hongo es estimulada por carbohidratos en las proteínas cuticulares del insecto. Una vez que el hongo penetra la cutícula, sus hifas se desarrollan en una matriz de proteínas compuesta por quitina, lípidos, melanina, difenoles y carbohidratos, permitiéndole a las hifas su propagación por la hemolinfa, atacando el sistema inmune del insecto y multiplicándose rápidamente en sus tejidos, con la posterior destrucción de los órganos del vector [87].

Paecilomyces fumosoroseus se ha mostrado como un potencial controlador de *T. citricida*. En un estudio de campo realizado en plantas de naranja Valencia en México, este hongo se utilizó como tratamiento, y los resultados mostraron que *P. fumosoroseus* fue altamente efectivo contra *T. citricida*, comparable al insecticida químico omethoate. Este estudio sugiere que *P. fumosoroseus* puede ser una opción viable y segura para el control biológico del pulgón café de los cítricos [87]. En otro estudio, se evaluó la cepa nativa AMBAS1 de *P. fumosoroseus*, la cual no mostró efectos negativos

en depredadores de plagas, lo que sugiere su potencial como agente de control biológico [45].

Adicionalmente, en otro estudio utilizando *Trichoderma longibrachiatum* se observó que la aplicación de este biocontrolador provocó una mortalidad del 50% en los insectos en un lapso de dos días, indicando su potencial uso para controlar el CTV [84].

En cuanto a *Aspergillus* spp. se evaluó la efectividad de una solución con esporas del hongo y su efecto en la mortalidad de *A. gossypii*, y se observó un 50% de mortalidad a los dos días de aplicación; sin embargo, no se encontró una diferencia significativa en comparación con el grupo de control [71].

Los pulgones son pequeños insectos de gran preocupación en la agricultura debido a su capacidad para transmitir diversas enfermedades a las plantas, incluyendo el CTV. Estos diminutos artrópodos, pertenecientes a la superfamilia *Aphidoidea*, son conocidos por su rápida reproducción y adaptabilidad a múltiples entornos ambientales, lo que les permite infestar rápidamente cultivos y plantas ornamentales. Por tanto, comprender las características biológicas y el ciclo de vida de estos vectores es esencial para desarrollar estrategias efectivas de manejo y control.

El ciclo de vida de los pulgones es complejo e involucra tanto formas sexuales como asexuales de reproducción. En la mayoría de los casos estos insectos se reproducen por partenogénesis, donde las hembras dan a luz a crías vivas sin la necesidad de fertilización por machos, lo que permite un crecimiento exponencial de la población en condiciones favorables. Las ninfas, o jóvenes pulgones, pasan por varias mudas antes de alcanzar la adultez, un proceso que puede completarse en cuestión de una a dos semanas dependiendo de la especie y las condiciones ambientales [84]. Además, la presencia de formas aladas y ápteras (sin alas) dentro de las mismas especies facilita su dispersión y colonización de nuevas plantas hospederas, agravando su impacto como plagas agrícolas.

Toxoptera citricida, comúnmente denominado pulgón café de los cítricos se resalta como el vector más eficiente debido a su capacidad para transmitir entre 6 y 25 veces más rápido el CTV. Aunque *T. aurantii*, conocido como pulgón negro, y otras especies como *A. gossypii* y *A. spiraecola* son menos eficientes en la transmisión del CTV en comparación con *T. citricida*, estas especies también cumplen un papel significa-

tivo como vectores del virus y están ampliamente distribuidas en diversas regiones productoras de cítricos [62].

Los hongos son importantes enemigos naturales de los pulgones en condiciones cálidas y húmedas, pero los estudios sobre su uso han demostraron un buen potencial para el control del pulgón café con *B. bassiana* [88]. Un estudio demostró que la aplicación de *B. bassiana* en condiciones de campo redujo significativamente las poblaciones de *T. citricida* mostrando un control eficaz comparable al de insecticidas químicos. Las condiciones ambientales como la temperatura y la humedad juegan un papel crucial en la efectividad de *B. bassiana*; en condiciones cálidas y húmedas, el hongo muestra una mayor tasa de germinación y penetración, aumentando así su eficacia contra los pulgones [87].

Es necesario tener en cuenta que ciertos factores abióticos son importantes para la implementación del control biológico, como la temperatura y la humedad que desempeñan un papel fundamental en su eficacia; condiciones térmicas ideales pueden promover la función de los organismos encargados de control biológico, mientras que condiciones climáticas extremas pueden reducir su efectividad. Es crucial tener en cuenta estos elementos al diseñar estrategias para el control de plagas de manera integrada, así como considerar sus potenciales ventajas ambientales en comparación con métodos químicos. Este enfoque puede ofrecer soluciones ambientalmente seguras, con la capacidad de establecerse de manera permanente y propagarse de forma autónoma. Además, presenta una baja probabilidad de que los organismos blanco desarrollen resistencia. El uso del control biológico puede ser aplicado tanto en postcosecha como antes de la recolección, y se caracteriza por su especificidad por el organismo objetivo. Finalmente, es importante tener en cuenta que existen riesgos asociados al control biológico, como la posible proliferación de patógenos oportunistas para humanos y animales, la producción de metabolitos dañinos como micotoxinas, y la alteración de interacciones ecológicas o patógenas, incluyendo la propagación fuera del área objetivo.

Conclusión

La investigación sobre el CTV demuestra que técnicas avanzadas de detección y métodos biológicos de control, como el uso de hongos entomopatógenos, son esenciales para un control eficaz de la enfermedad. La combinación de estas estrategias, ajustadas a condiciones ambientales específicas, ofrece soluciones sostenibles y efectivas, lo que promueve una agricultura más segura y eficiente. El control biológico representa una estrategia prometedora y sostenible para el manejo de plagas, ofrece una alternativa segura con el medio ambiente frente a los métodos químicos tradicionales. Sin embargo, su efectividad está intrínsecamente vinculada a factores abióticos, como la temperatura y la humedad, los cuales pueden influir significativamente en el rendimiento de los organismos biocontroladores. Si bien este enfoque tiene el potencial de establecerse de manera autónoma y persistente, su éxito depende de un manejo cuidadoso de las condiciones ecológicas, ya que las variaciones ambientales y la posible incompatibilidad con productos químicos pueden limitar su eficacia. Además, los riesgos asociados, tales como la proliferación de patógenos oportunistas o la alteración de interacciones ecológicas, subrayan la necesidad de una evaluación rigurosa y un monitoreo continuo en su aplicación. En última instancia, el control biológico debe ser considerado dentro de un enfoque integral de manejo de plagas, donde se equilibren sus beneficios ambientales con los posibles desafíos ecológicos y operacionales, garantizando así una gestión de plagas eficaz, segura y sostenible a largo plazo.

Referencias

- [1] **Moreno, P., Ambrós, S., Albiach-Martí, MR., Guerrero, J., & Peña, L.** Citrus tristeza virus: a pathogen that changed the course of the citrus industry. *Molecular Plant Pathology*, 2008;9(2):251–268. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00455.x>
- [2] **United States Department of Agriculture.** Citrus: World Markets and Trade, 2024.
- [3] **Sáenz Pérez, CA., Osorio Hernández, E., Estrada Drouaillet, B., Poot Poot, WA., Delgado Martínez, R., & Rodríguez Herrera, R.** Principales enfermedades en cítricos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*,

- 20019;10;1653–1665. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1827>.
- [4] **Lee, R.** Chapter Five - Control of Virus Diseases of Citrus. ScienceDirect, 2014;91;143–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.aivir.2014.10.002>
- [5] **Solano-Luna, LM., Chavarro-Mesa, E., & Ángel-Díaz, JE.** (2018). PCR cuantitativa para la detección del virus de la tristeza de los cítricos en Colombia. Ciencia y Agricultura, 2018;15(1);7–18. <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7789>
- [6] **Harper, SJ.** Citrus tristeza virus: evolution of complex and varied genotypic groups. Frontiers in Microbiology, 2013;4. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00093>
- [7] **Cruz, MÁG., Tovar, LG., Ortíz-Martínez, LE., & Hernández-Carlos, A.** La importancia de la aplicación de micorrizas para disminuir la abscisión de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) en Veracruz, México / The importance of the application of mycorrhizae to reduce abscission of orange in Veracruz, Mexico. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 2021;4(4);6012–6020. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-094>
- [8] **Arrieta-Ramos, BG., Villegas-Monter, Á., Hernández-Bautista, A., Rodríguez-Mendoza, Ma. de las N., Ruiz-Posadas, L. del M., & García-Villanueva, E.** Estomas y vigor de naranja 'valencia' injertado en portainjertos tolerantes al virus de la tristeza de los cítricos. Revista Fitotecnica Mexicana 2010;33(3);257. <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.3.257>
- [9] **Cruz Hernandez, MA.** Efecto De Patrones De Citricos Tolerantes Al Virus Tristeza De Los Citricos En El Contenido Nutricional En Naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck). Universidad Autónoma de Nuevo León, 2000.
- [10] **Uribe-Bustamante, A., Curti-Díaz, SA., Hernández-Guerra, C., & Ticante-Montero, SJ.** quality of 'valencia' orange grafted on 20 rootstocks. Revista Chapingo Serie Horticultura, 2013;XIX(1); 61–69. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.08.043>
- [11] **Jaén M., Villegas MA., & Arellano G.** Enraizamiento de estacas como portainjertos (cítricos citrange carrizo y troyer), una alternativa de propagación. Ciencia Agropecuaria, 2005;19;71–94.
- [12] **Moran Duarte, KM.** Manejo agronómico del cultivo de naranja (*Citrus sinensis*) en el Ecuador. Universidad Técnica De Babahoyo, 2023.
- [13] **Francesco, A.** Estudio del mecanismo de resistencia de plantas transgénicas híbridas de Citrus sinensis frente a Citrus psorosis virus. Universidad Nacional de La Plata, 2015. <https://doi.org/10.35537/10915/45549>
- [14] **Matos, L., & Borbôn, J.** El Virus de la Tristeza de los Citricos (CTV) en Plantaciones Comerciales y Viveros de la República Dominicana. AgEcon Search, 2008;44;204–211.
- [15] **Stuchi, ES., Girardi, EA., Silva, SR., Parolin, LG., & Donadio, GWMLC.** Performance of field-selected clones of Pera sweet orange in Northern São Paulo state, Brazil. Citrus Research & Technology, 2020;41;e1061. <https://doi.org/10.4322/crt.21920>
- [16] **Hernández-Morales, LM., García-Pérez, E., Cortés-Flores, JI., Villegas-Monter, Á., & Mora-Aguilera, JA.** Fertilización integral en árboles de naranja 'marrs' en producción con síntomas de virus de la tristeza de los cítricos (VTC) y huanglongbing (HLB). Revista Fitotecnica Mexicana, 2021;44(1);59. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.1.59>
- [17] **Pumayalla Alvarez, SM.** Aplicación de tres bioestimulantes, en el proceso para la obtención de plántones de citrus jambhiri (limón rugoso) y citrus volkameriana (limón volkameriano) aptos para la injertación de Citrus sinensis (Naranja) Var. "Washington navel". Universidad Nacional De Tumbes, 2017.
- [18] **E. Monteverde, E., Marín RC., & Ruiz, JR.** Estudio de algunas características del fruto de ocho portainjertos para cítricos. Agronomía Tropical, 2007;57.
- [19] **Pablo Mendoza, M. del C.** Análisis de sanidad y calidad de la planta en viveros cítricos. Colegio De Postgraduados Institución De Enseñanza E Investigación En Ciencias Agrícolas Campus Montecillo, 2018.
- [20] **Díaz Araujo, JA.** Protocolos De Producción De Naranja "Citrus Sinensis L." Variedad Washington Navel, Portainjerto Citrange C – 35, En Vivero Comercial Localidad De Valdivia, Huanchaco. Universidad Privada Antenor Orrego, 2023.
- [21] **García Merino, GF.** Saneamiento vegetativo de limón persa (*Citrus x latifolia*) con HLB y CTB mediante meristemas apicales y termoterapia in vitro. Institución De Enseñanza E Investigación En Ciencias Agrícolas Campus Córdoba, 2018.
- [22] **López Garay, LA., Pérez Monjaras, A. del C., García Castillo, MA., Juárez Juárez, MAR., & Dávila Lezama, M. del R.** Efectividad de cuatro insecticidas para el control de ácaros (*Tetranychus urticae* y *Panonychus citri*), en limón persa (*Citrus latifolia* L.) en la zona centro de Veracruz. Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan, 2023;10(2);95–102. <https://doi.org/10.47808/revista-bioagro.v10i2.428>
- [23] **Berdeja Arbeu, R., Aguilar Méndez, L., Moreno Velázquez, D., Vázquez Huerta, G., Ontiveros Capurata, R., & Ibáñez Martínez, A.** Calidad de fruta de lima "persa" en diferentes portainjertos en Veracruz, México. Acta Agrícola y Pecuaria, 2016;2; 17–22.
- [24] **Tapia Fierro, KL.** Bases moleculares de la diversidad genética de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) y su efecto en el perfil del aceite esencial de limón. Universidad Veracruzana, 2009.
- [25] **Donkersley, P., Silva, FWS., Carvalho, CM., Al-Sadi, AM., & Elliot, SL.** Biological, environmental and socioeconomic threats to citrus lime production. Journal of Plant Diseases and Protection, 2018;125(4);339–356. <https://doi.org/10.1007/s41348-018-0160-x>

- [26] Stuchi, ES., Martins, ABG., Lemo, RR., & Cantuarias-Avilés, T. Fruit quality of "Tahiti" lime (*Citrus latifolia* Tanak) grafted on twelve different rootstocks. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 2009;31(2);454–460. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000200020>
- [27] Goyes Torres, CI. Principales microorganismos que afectan al cultivo de limón Tahití (*Citrus latifolia*) de exportación. Universidad Técnica De Babahoyo, 2022.
- [28] Quiroga Cardona, J., Hernández Parrado, FL., Silva Herrera, M. del R., & Orduz Rodríguez, JO. Comportamiento de la producción de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka), injertada sobre el patrón de Mandarina Cleopatra (*Citrus reticulata* Blanco) y la influencia del virus de la tristeza (CTV) en condiciones del piedemonte del Meta, 1997-2008. *Orinoquia*, 2010;14;5–15.
- [29] Medina Urrutia, VM., Robles González, MM., Rocha Peña, MA., Virgen Calleros, G., Reyes Hernández, J., & Fernández Rivera, E. Growth, Yield and Fruit Quality of Tahiti Lime on Eight Standard Rootstocks Affected by Soil Depth. *Agricultural Science and Technology*, 2014;4;793–803.
- [30] Besoain, X., Bertolini, E., Camps, R., Ramella, F., Gorris, MT., Torres, M., & Cambra, M. Aggressive Citrus tristeza virus isolates in Chile are MCA13-positive and VT type, while mild isolates are MCA13-negative and T30 type. *Ciencia e Investigación Agraria* 2015;42(2);11–11. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202015000200011>
- [31] Halbert, SE., Genc, H., Cevik, B., Brown, LG., Rosales, IM., Manjunath, KL., Pomerinke, M., Davison, DA., Lee, RF., & Niblett, CL. Distribution and Characterization of Citrus tristeza virus in South Florida Following Establishment of Toxoptera citricida. *Plant Disease*, 2004;88(9);935–941. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.9.935>
- [32] Cuervo Lagos, L., Vargas Zaleta, NE., Enríquez García, F., Uranga Valencia, LP., & Morelos Suet, PE. Principales cítricos cultivados en Veracruz, México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2023;10(2);212–218. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v10i2.445>
- [33] Ferrarezi, RS., Vincent, CI., Urbaneja, A., & Machado, MA. Editorial: Unravelling Citrus Huanglongbing Disease. *Frontiers in Plant Science*, 2020;11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.609655>
- [34] Contreras Maya, R. Respuesta fisiológica de Citrus sinensis L. Osbeck y C. latifolia Tanaka inoculados con aislados atenuados de Citrus tristeza virus. Colegio De Postgraduados Campus Montecillo, 2022.
- [35] Folimonova, SY., & Sun, YD. Citrus Tristeza Virus: From Pathogen to Panacea. *Annual Review of Virology*, 2022;9(1);417–435. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-100520-114412>
- [36] Novoa SA, & Herrera MG. Uso del análisis de imágenes en el diagnóstico de la "tristeza de los cítricos" en limoneros (citrus limon (L.) burm.) del Valle De Malla-rauco, CHILE. *Agricultura Técnica*, 2002;62(4). <https://doi.org/10.4067/S0365-28072002000400012>
- [37] Wang, Y., Liao, P., Zhao, J. fa, Zhang, X. kai, Liu, C., Xiao, P. an, Zhou, C. yong, & Zhou, Y. Comparative transcriptome analysis of the Eureka lemon in response to Citrus yellow vein virus infection at different temperatures. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2022;119;101832. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2022.101832>
- [38] Zhao, R., Wu, C., He, Y., Yu, C., Liu, J., Li, T., Zhou, C., & Chen, W. Different Host Plants Distinctly Influence the Feeding Ability of the Brown Citrus Aphid Toxoptera citricida. *Insects*, 2021;12(10);864. <https://doi.org/10.3390/insects12100864>
- [39] Read, DA., Palacios, MF., Figueroa, J., Foguet, L., Kleynhans, J., Stein, B., & Pietersen, G. Survey of citrus tristeza virus (CTV) strains in Citrus x limon (L) Burm f. (lemon) in Tucumán Province, Argentina. *European Journal of Plant Pathology*, 2017;149(4);1029–1039. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1245-2>
- [40] Enrique, R., Siciliano, F., Favaro, MA., Gerhardt, N., Roeschlin, R., Rigano, L., Sendin, L., Castagnaro, A., Vojnov, A., & Marano, MR. Novel demonstration of RNAi in citrus reveals importance of citrus callose synthase in defence against Xanthomonas citri subsp. citri. *Plant Biotechnology Journal*, 2011;9(3); 394–407. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2010.00555.x>
- [41] McCartney, MM., Spitulski, SL., Pasamontes, A., Peirano, DJ., Schirle, MJ., Cumeras, R., Simmons, JD., Ware, JL., Brown, JF., Poh, AJ. Y., Dike, SC., Foster, EK., Godfrey, KE., & Davis, CE. Coupling a branch enclosure with differential mobility spectrometry to isolate and measure plant volatiles in contained greenhouse settings. *Talanta*, 2016;146;148–154. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.08.039>
- [42] Kubaa, RA., Djelouah, K., D'Ongnia, AM., Addante, R., & Jamal, M. First Report from Syria of Citrus tristeza virus in Citrus spp. *Plant Disease*, 2008;92(10); 1468. <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-10-1468C>
- [43] Hilf, ME. An Immunocapture RT-PCR Procedure Using Apple stem grooving virus Antibodies Facilitates Analysis of Citrus tatter leaf virus from the Original Meyer Lemon Host. *Plant Disease*, 2008;92(5);746–750. <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-5-0746>
- [44] Harper, SJ., & Cowell, SJ. The past and present status of Citrus tristeza virus in Florida. *Journal of Citrus Pathology*, 2016;3(1). <https://doi.org/10.5070/C431032387>
- [45] Abbate, L., Panno, S., Mercati, F., Davino, S., & Fatta Del Bosco, S. Citrus rootstock breeding: response of four allotetraploid somatic hybrids to Citrus tristeza virus induced infections. *European Journal of Plant Pathology* 2019;153(3);837–847. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1599-0>
- [46] Ghorbel, R., Dominguez, A., Navarro, L., & Pena, L. High efficiency genetic transformation of sour orange

- (Citrus aurantium) and production of transgenic trees containing the coat protein gene of citrus tristeza virus. *Tree Physiology*, 2000;20(17):1183–1189. <https://doi.org/10.1093/treephys/20.17.1183>
- [47] **Bar-Joseph, M., Catara, A.F., & Licciardello, G.** The Puzzling Phenomenon of Seedling Yellows Recovery and Natural Spread of Asymptomatic Infections of Citrus Tristeza Virus: Two Sides of the Same Coin. In *Editorial Board* 2005;339–362. <https://doi.org/10.1002/9781119750802.ch7>
- [48] **Cheng, C., Yang, J., Yan, H., Bei, X., Zhang, Y., Lu, Z., & Zhong, G.** Expressing p20 hairpin RNA of Citrus tristeza virus confers Citrus aurantium with tolerance/resistance against stem pitting and seedling yellow CTV strains. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015;14(9):1767–1777. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60937-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60937-0)
- [49] **Mendoza, A., Salazar, C., Alvarado, O., Cruz, M.A., & Barrera, H.** Diferenciación molecular de razas severas y débiles de aislamientos del virus de la tristeza de los cítricos en MÉXICO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 2022;26(4):223. <https://doi.org/10.35196/rfm.2003.4.223>
- [50] **Ghaderi, I., Sohani, M.M., & Mahmoudi, A.** Efficient genetic transformation of sour orange, Citrus aurantium L. using Agrobacterium tumefaciens containing the coat protein gene of Citrus tristeza virus. *Plant Gene*, 2018;14:7–11. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2018.02.002>
- [51] **Canales Carrera, E.E.** Evaluación de tres parámetros de microinjertación en el prendimiento in vitro de Citrus aurantium (L.) “naranja agria” empleando el patrón “Citrumelo.” Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión 2022.
- [52] **Benítez-Galeano, M., Hernández-Rodríguez, L., Dalmao, F., Bertoni, E., Bertalmío, A., Rubio, L., Rivas, F., Maeso, D., & Colina, R.** First comprehensive sanitary report of citrus-infecting viruses and viroids in Uruguay. *Journal of Citrus Pathology*, 2021;8(1). <https://doi.org/10.5070/C481049181>
- [53] **Khefifi, H., Dumont, D., Costantino, G., Doligez, A., Brito, A. C., Bérard, A., Morillon, R., Ollitrault, P., & Luro, F.** Mapping of QTLs for citrus quality traits throughout the fruit maturation process on clementine (Citrus reticulata × C. sinensis) and mandarin (C. reticulata Blanco) genetic maps. *Tree Genetics & Genomes*, 2022;18(6):40. <https://doi.org/10.1007/s11295-022-01571-w>
- [54] **Oustric, J., Morillon, R., Luro, F., Herbette, S., Lourkisti, R., Giannettini, J., Berti, L., & Santini, J.** Tetraploid Carrizo citrange rootstock (Citrus sinensis Osb. × Poncirus trifoliata L. Raf.) enhances natural chilling stress tolerance of common clementine (Citrus clementina Hort. ex Tan). *Journal of Plant Physiology*, 2017;214: 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.04.014>
- [55] **da Silva, M., Germano, S., Duarte, A., Pinto, P., & Marques, N.T.** Callose synthase and xyloglucan endotransglucosylase gene expression over time in Citrus × clementina and Citrus × sinensis infected with citrus tristeza virus. *Phytoparasitica*, 2023;51(3), 637–649. <https://doi.org/10.1007/s12600-023-01068-9>
- [56] **Wallis, C.M., Gorman, Z., Rattner, R., Hajeri, S., & Yokomi, R.** Amino acid, sugar, phenolic, and terpenoid profiles are capable of distinguishing Citrus tristeza virus infection status in citrus cultivars: Grapefruit, lemon, mandarin, and sweet orange. *PLOS ONE*, 2022;17(5):e0268255. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268255>
- [57] **Mademba-Sy, F., Lemerre-Desprez, Z., & Lebegin, S.** Use of Flying Dragon Trifoliolate Orange As Dwarfing Rootstock for Citrus Under Tropical Climatic Conditions. *HortScience*, 2012;47(1):11–17. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.1.11>
- [58] **Maciá-Vázquez, A.A., Núñez-Gómez, D., Martínez-Nicolás, J.J., Legua, P., & Melgarejo, P.** Morphological and Biochemical Characterization of Late-Season Varieties of Mandarin Growing in Spain under Homogeneous Growing Conditions. *Agronomy*, 2023;13(7): 1825. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071825>
- [59] **Armadañs Rojas, A.J., Villalba Romero, N.V., & Rodríguez, H.** Influencia del portainjertos y la época de cosecha sobre la calidad de pomelo (Citrus paradisi Macfad) variedad Rio Red. *Acta Agronómica* 2014;63(2):122–127. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.37905>
- [60] **Ramin, A.-A., & Alirezanezhad, A.** Effects of citrus rootstocks on fruit yield and quality of Ruby Red and Marsh grapefruit. *Fruits*, 2005;60(5):311–317. <https://doi.org/10.1051/fruits:2005037>
- [61] **de-Miguel, Caballero, & Fernández-Zamudio.** Varietal Change Dominates Adoption of Technology in Spanish Citrus Production. *Agronomy*, 2019;9(10):631. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100631>
- [62] **Killiny, N., Harper, S.J., Alfaress, S., El Mohtar, C., & Dawson, W.O.** Minor Coat and Heat Shock Proteins Are Involved in the Binding of Citrus Tristeza Virus to the Foregut of Its Aphid Vector, Toxoptera citricida. *Applied and Environmental Microbiology*, 2016;82(21):6294–6302. <https://doi.org/10.1128/AEM.01914-16>
- [63] **Wu, F., Huang, M., Fox, E.G.P., Huang, J., Cen, Y., Deng, X., & Xu, M.** Preliminary Report on the Acquisition, Persistence, and Potential Transmission of Citrus tristeza virus by Diaphorina citri. *Insects*, 2021;12(8):735. <https://doi.org/10.3390/insects12080735>
- [64] **Ali, M.E., Bennett, A., Stackhouse, T., Waliullah, S., & Oliver, J. E.** First Report of Citrus Tristeza Virus Infecting Citrus Trees in Georgia, U.S.A. *Plant Disease*

- 2021;105(7). <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-21-0365-PDN>
- [65] **Aguirre Áviles EJ, Uranga Valencia LP, Villarreal Ramirez VH, Morales Morales, HA., & Yañez Muñoz, RM.** Anemazas comunes de Naranja Valencia, una recopilación necesaria. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2021;9(2): 01–19. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v9i2.364>
- [66] **Zanutto, CA., Corazza, MJ., Nunes, WM. de C., & Müller, GW.** Evaluation of the protective capacity of new mild Citrus tristeza virus (CTV) isolates selected for a preimmunization program. *Scientia Agricola*, 2013;70(2):116–124. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000200009>
- [67] **Fadel, AL., Mourão Filho, F. de AA., Stuchi, ES., Wulff, NA., & Couto, HTZ.** Citrus sudden death-associated virus (CSDaV) and citrus tristeza virus (CTV) in eleven rootstocks for 'Valência' sweet orange. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 2018;40(4). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018788>
- [68] **Giampani, Js., Tazima, Zh., Baba, Vy., Yada, Ifu., & Leite Júnior, Rp.** Citrus tristeza disease severity and agronomic performance of 'Pêra' sweet orange cultivars and selections in the North and Northwest regions of the State of Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 2016;38(3). <https://doi.org/10.1590/0100-29452016073>
- [69] **Yokomi, RK., Sisterson, MS., & Hajeri, S.** Spread of Citrus Tristeza Virus in Citrus Orchards in Central California. *Plant Disease*, 2020;104(7):1925–1931. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-19-1791-RE>
- [70] **Munir, N., Hameed, A. A., Haq, R., & Naz, S.** (2019). Biochemical changes in cultivars of sweet oranges infected with citrus tristeza virus. *Brazilian Journal of Biology*, 79(4), 742–748. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.193791>
- [71] **Shilts, T., El-Mohtar, C., Dawson, WO., & Killiny, N.** Citrus tristeza virus P33 Protein Is Required for Efficient Transmission by the Aphid *Aphis* (Toxoptera) citricidus (Kirkaldy). *Viruses*, 2020;12(10):1131. <https://doi.org/10.3390/v12101131>
- [72] **Liu, J., Li, L., Zhao, H., Zhou, Y., Wang, H., Li, Z., & Zhou, C.** Titer Variation of Citrus Tristeza Virus in Aphids at Different Acquisition Access Periods and Its Association with Transmission Efficiency. *Plant Disease*, 2019;103(5):874–879. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-18-0811-RE>
- [73] **Harper, SJ., Cowell, SJ., Robertson, CJ., & Dawson, WO.** Differential tropism in roots and shoots infected by Citrus tristeza virus. *Virology*, 2014;460–461:91–99. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2014.04.035>
- [74] **Hernández Parrado, F., Quiroga Cardona, J., Silva, M. del R., & Orduz, JO.** Influencia del virus de la tristeza de los cítricos (CTV) en copas de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka), injertadas sobre patrón de mandarina cleopatra (*Citrus reshni* Horth. Ex Tan). *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 2014;5(1):127–141. <https://doi.org/10.22579/22484817.645>
- [75] **Camps, R., Fiore, N., Riquelme, N., Barros-Parada, W., & Besoain, X.** Genotype variation of citrus tristeza virus after passage on different hosts, and changes in the virus genotype populations by the vector *Aphis gossypii*. *Phytopathologia Mediterranea* 2022; 61(1): 55–63. <https://doi.org/10.36253/phyto-12965>
- [76] **Yokomi, RK., Selvaraj, V., Maheshwari, Y., Saponari, M., Giampetruzzi, A., Chiumenti, M., & Hajeri, S.** Identification and Characterization of Citrus tristeza virus Isolates Breaking Resistance in Trifoliate Orange in California. *Phytopathology*®, 2017;107(7):901–908. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-17-0007-R>
- [77] **Silva Vara, S., Peña del Río, M. de los A., Peña Martínez, R., Villegas Jiménez, N., Byerly Murphy, K. F., & Rocha Peña, M. A.** Distribution of citrus tristeza virus in three commercial groves in Nuevo León, MÉXICO. *Sistema de Información Científica*, 2001;35:441–450.
- [78] **Rivas Valencia, P., Loeza Kuk, E., Mora Aguilera, G., Ruiz García, N., Ochoa Martínez, DL., Gutiérrez Espinosa, A., & Febres, V.** Análisis espacio-temporal de aislamientos DEL Citrus tristeza virus De Yucatán Y Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2010;1:493–507.
- [79] **Rivas-Valencia, P., Loeza-Kuk, E., Domínguez-Monge, S., & Lomas-Barrié, C. T.** Chronic infection of the citrus tristeza virus in Citrus sinensis / C. aurantium trees in a restrictive thermal regime in Yucatán. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 2017;XXIII(3):187–202. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.028>
- [80] **Castillo Barbosa, CH.** Evaluación de extractos de tallo y hoja de *Ryania speciosa* (Triana y Planch) Monach. Var. choconensis, para el control de *Toxoptera citricida* Kirkaldy, en condiciones de laboratorio. Universidad del Pacífico 2010. <https://repositorio.unipacifico.edu.co/handle/unipacifico/97>
- [81] **Loeza Kuk, E., Lomas Barrié, CT., Rivas Valencia, P., & Chacón López, A.** Movimiento de aislamientos del citrus tristeza virus en cítricos con interinjerto. *ResearchGate*, 2022. https://www.researchgate.net/publication/364964794_Movimiento_de_aislamientos_del_citrus_tristeza_virus_en_citricos_con_interinjerto
- [82] **Khalilzadeh, M., Lin, CY., Wang, C., El-Mohtar, CA., & Levy, A.** Stem-pitting caused by Citrus tristeza virus is associated with increased phloem occlusion. *Virology*, 2024;589:109918. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2023.109918>
- [83] **Rodríguez P, Romero de Pérez G, & Guzmán M.** Detección del virus de la tristeza de los cítricos por serología, microscopía e hibridación in situ. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 2009;XI:94–106.

- [84] **Carreño AC.** Análisis del efecto de hongos entomopatógenos como control biológico contra la plaga de Áfidos. Universidad de Almería 2020.
- [85] **Avalos Vela KL, Kugg JW.** Efecto de *Lecanicillium lecanii* y *Beauveria bassiana* sobre *Planococcus citri* en condiciones de laboratorio. Revista Científica de Estudiantes.
- [86] **Hernández Torres I, Berlanga Padilla A, López Arroyo JI, Loera Gallardo J, & Acosta Díaz E.** Evaluación de hongos entomopatógenos para el control del pulgón café de los cítricos, *Toxoptera citricida* (Kirkaldy). México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2007
- [87] **Valverde- Rodríguez, A., Cornejo y Maldonado, A., Villanueva, NM., & Campos Albornoz, ME.** Bacterias y hongos entomopatógenos en el manejo de *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) en los cultivos de la col. Siembra, 2024;11(1);e4994. <https://doi.org/10.29166/siembra.v11i1.4994>
- [88] **Dolinski, C., & Lacey, LA.** Microbial control of arthropod pests of tropical tree fruits. Neotropical Entomology, 2007;36(2); 161–179. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2007000200001>