Huanglongbing (HLB) de los Cítricos: Impacto Económico y Variabilidad Genética del Patógeno en México

Pérez-Zarate, Luis Alfredo[1]; Osorio-Acosta, Francisco[1]; Ortega-Arenas, Laura Delia[2]; Martínez-Hernández, Aída[3]; Villanueva-Jiménez, Juan Antonio[1*]

[1] Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Km. 88.5 Carretera Fed. Xalapa-Veracruz. Manlio F. Altamirano. Veracruz, C.P. 91690, México.
[2] Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5 Carretera Federal México-Texcoco, Texcoco, Edo. de México, C.P. 56264, México.
[3] Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. Carretera Haltún-Edzná km 17.5, Sihochac, Champotón, Campeche, C.P. 24450, México.
* Autor de correspondencia: javj@colpos.mx

Contexto

La enfermedad del Huanglongbing (HLB) de los cítricos se ha considerado como la más destructiva en el mundo, asociada con cuantiosas pérdidas económicas debido a la reducción en la producción y calidad de la fruta, así como a la pérdida de empleos directos e indirectos. En México, el manejo del HLB se basa en el control del insecto vector, el uso de plantas certificadas y la eliminación de plantas enfermas. La respuesta de las plantas a la infección es diferencial entre especies y variedades de cítricos. Por ejemplo, los cítricos Dulces son más vulnerables que los cítricos agrios. Identificar los factores asociados con la tolerancia de algunas especies de cítricos, como la lima Persa, podría conducir al desarrollo de estrategias de manejo con potencial aplicación en condiciones de campo. Es crucial conocer las acciones de manejo que llevan a cabo los productores y las herramientas que utilizan para reducir el impacto de la enfermedad, como la fertilización y el uso de elicitores. Además, comprender la variabilidad genética del patógeno podría determinar la virulencia asociada con la severidad de los síntomas por región citrícola, lo que permitiría la implementación de acciones de manejo específicas para cada región.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN 1: Determinantes genéticos y hormonales asociados con tolerancia y/o susceptibilidad de cítricos a la enfermedad del HLB

Cómo citar: Pérez-Zarate, L. A., Osorio-Acosta, F., Ortega-Arenas, L. D., Martínez-Hernández, A., & Villanueva-Jiménez, J. A. (2024). Huanglongbing (HLB) de los Cítricos: Impacto Económico y Variabilidad Genética del Patógeno en México. *Agro-Divulgación, 4*(2). https://doi.org/ 10.54767/ad.v4i2.301

Editores académicos: Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Mayo 2024.

Agro-Divulgación, 4(2). Marzo-Abril. 2024. pp: 71-82.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International

Imagen de Hans en Pixabay

Antecedentes

La enfermedad del Huanglongbing (HLB) de los cítricos es ocasionada por la bacteria *Candidatus* Liberibacter asiaticus (*C*Las); su transmisión entre las plantas se realiza principalmente por injerto y en mayor medida por el vector *Diaphorina citri*, también conocido como psílido asiático de los cítricos. Hasta la fecha, no se ha encontrado una cura para la enfermedad debido a que no ha sido posible aislar la bacteria en medios artificiales, lo cual dificulta su estudio y la búsqueda de alternativas de control efectivas. Por ese motivo, la estrategia de manejo en México se ha basado en el monitoreo y control del insecto vector, en el uso de planta certificada y la eliminación de plantas enfermas. A pesar de los esfuerzos realizados en la campaña contra plagas reglamentadas de los cítricos, a la fecha la enfermedad del HLB se encuentra en todos los estados citrícolas del país. El estado de Colima ha sido el más afectado por la enfermedad del HLB, con la pérdida de millones de pesos y empleos directos e indirectos.

Resultados de investigaciones científicas reportan que algunos cítricos, como el limón persa, muestran tolerancia a la enfermedad. Por el contrario, la naranja dulce, el limón mexicano y algunas mandarinas son más susceptibles. Lo anterior podría estar mediado por la expresión o represión de múltiples genes que participan en la respuesta contra la infección bacteriana, además de la participación de hormonas asociadas con la respuesta de inmunidad, entre otros factores asociados con el entorno en el que se desarrollan las plantas, como las acciones de manejo, las condiciones agroclimáticas, la edad de las plantas y el patrón utilizado.

Recientemente se ha hipotetizado que la enfermedad del HLB es ocasionada por el propio sistema inmune de la planta, ya que los síntomas observados no son ocasionados directamente por efecto de la bacteria. En ese sentido, los tratamientos enfocados en potenciar las defensas de la planta contra la enfermedad podrían ser perjudiciales en lugar de benéficos. Además, los mecanismos de tolerancia y/o susceptibilidad de las especies y/o variedades de cítricos aún no han sido comprendidos en su totalidad. Por lo tanto, es fundamental probar esta hipótesis mediante estudios rigurosos con herramientas ómicas y de cromatografía que analicen las interacciones entre la planta y la bacteria causante del HLB. Estos estudios no solo mejorarán nuestra comprensión de la enfermedad, sino que también podrían llevar al desarrollo de estrategias de manejo más efectivas y precisas para combatir el HLB en los cítricos.

Objetivo general

Evaluar las respuestas de defensa entre cítricos dulces y agrios ante la infección de *Candidatus* Liberibacter asiaticus, patógeno causal del Huanglongbing de los cítricos.

Objetivos específicos

Determinar el nivel de infección del patógeno causal del HLB en *Citrus sinensis* y *Citrus aurantifolia* mediante inoculación.

Describir el proceso fisiopatológico de la infección de HLB en cítricos.

Evaluar la producción y acumulación de fitohormonas asociadas al estrés biótico en cítricos afectados por HLB.

Determinar el perfil transcriptómico de los cítricos tolerantes y susceptibles a la infección por HLB.

Determinar el perfil de expresión génica en cítricos afectados por HLB.

Evaluar el nivel de severidad de la infección relacionado con los síntomas visuales en las plantas afectadas.

Hipótesis

Los cítricos agrios presentarán respuestas de defensa más efectivas en comparación con los cítricos dulces frente a la infección con *Candidatus* Liberibacter asiaticus, lo que se reflejará en una mayor activación de genes relacionados con la resistencia a patógenos, una mayor acumulación de fitohormonas de defensa y una reducción menos severa de los síntomas asociados al Huanglongbing.

En la Figura 1 se resumen los procesos metodológicos para lograr los objetivos planteados en la línea de investigación 1.

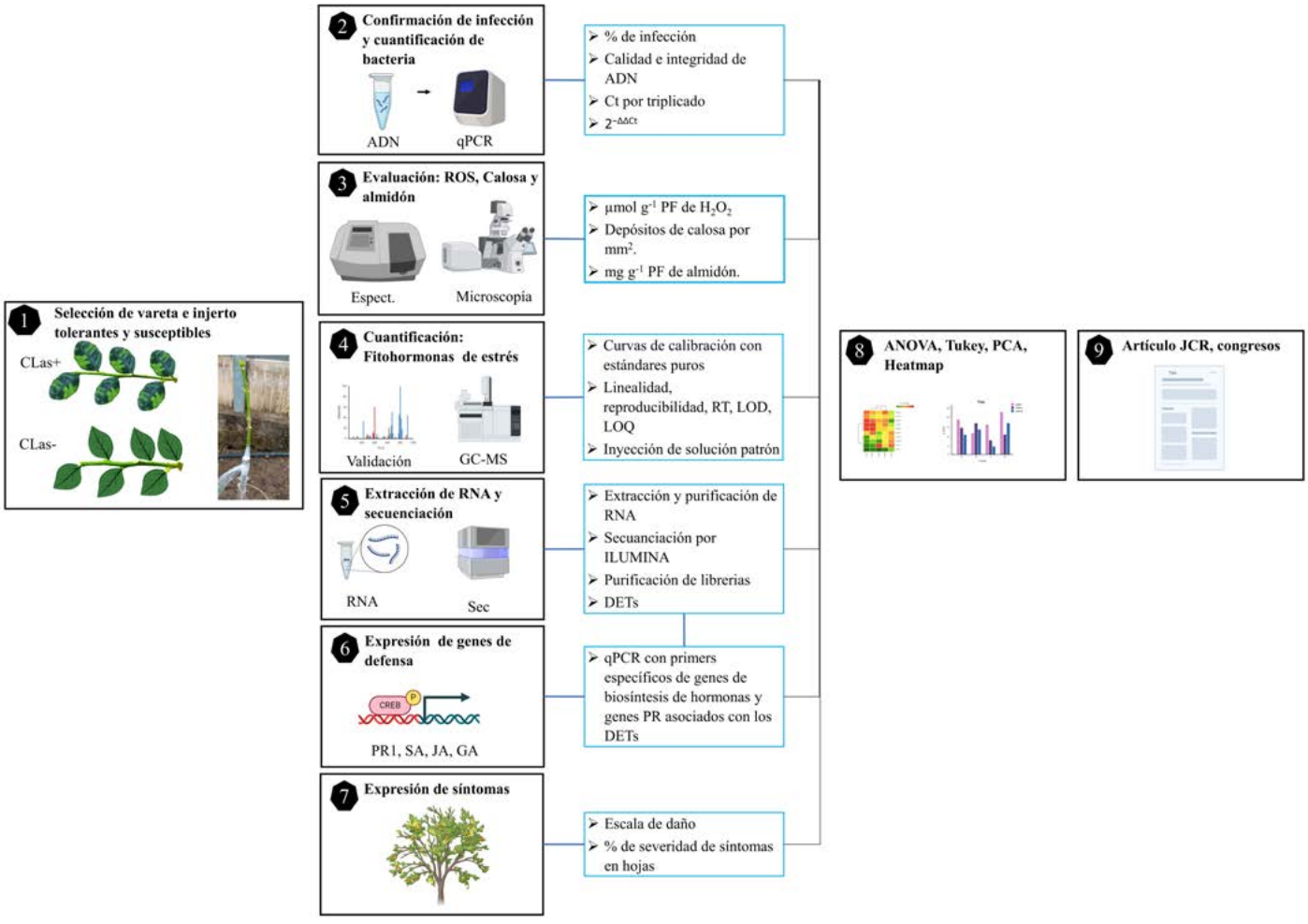

Figura 1. Diagrama de procesos metodológicos para lograr los objetivos en la línea de investigación 1.

Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
¿Existen diferencias entre los cítricos dulces y agrios en su respuesta al Huanglongbing?	¿Cuáles son las respuestas defensivas de los cítricos dulces y agrios ante el patógeno causante del Huanglongbing?	Revisión de la Respuesta Transcripcional y Hormonal en el Proceso Fisiopatológico del Huanglongbing (HLB) en Cítricos	Determinar el nivel de infección del patógeno causal del HLB en *Citrus sinensis* y *Citrus aurantifolia* mediante inoculación Describir el proceso fisiopatológico de la infección de HLB en cítricos. Evaluar la producción y acumulación de fitohormonas asociadas al estrés biótico en cítricos afectados por HLB Determinar el perfil de expresión génica en cítricos afectados por HLB Determinar el perfil transcriptómico de los cítricos tolerantes y susceptibles a la infección por HLB Evaluar el nivel de severidad de la infección relacionado con los síntomas visuales en las plantas afectadas	Realizar PCR en tiempo real en cítricos sanos y enfermos de *Citrus sinensis* y *Citrus aurantifolia* Cuantificar la cantidad de bacterias en las nervaduras de las hojas de *Citrus sinensis* y *Citrus aurantifolia* Determinación de especies reactivas de oxígeno (ROS), acumulación de callosa en el floema y almidón en lamina foliar de cítricos sanos y enfermos Análisis de la acumulación de ácido salicílico, ácido jasmónico y ácido giberélico mediante cromatografía de gases-masas en plantas de cítricos, tanto sanas como enfermas Realizar la detección de la expresión génica mediante RT-PCR en cítricos sanos y enfermos, centrándose en genes específicos relacionados inmunidad ante HLB.	Se realizará un análisis del porcentaje de infección y se aplicarán pruebas de ANOVA y Tukey para comparar la cantidad de bacterias entre los grupos, así como para evaluar la cantidad de ROS, calosa, almidón, hormonas, expresión génica y severidad. Además, se llevará a cabo una regresión lineal para desarrollar curvas de calibración para qPCR y GC-MS. Por último, se aplicarán técnicas de análisis multivariado, incluyendo Componentes Principales y correlación, para examinar las relaciones entre las variables analizadas	Comparar la cantidad de bacterias, especies reactivas de oxígeno (ROS), calosa, almidón, hormonas, transcritos y genes entre las variedades de estudio ¿Cuáles son los transcritos, genes y hormonas característicos de cada variedad? ¿Existen transcritos o genes relacionados con la respuesta inmune que estén sobre expresados o reprimidos? ¿Existe correlación entre los transcritos o genes y la producción de ROS, calosa y almidón? ¿Existen características a nivel transcriptómico, génico o hormonal asociadas con la tolerancia o susceptibilidad?	Un artículo científico, un congreso, una tesis de licenciatura, una de maestría, y seminarios sobre resultados presentados ante personal de dependencias de sanidad vegetal e institutos de investigación

Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
¿Cuál es el uso actual de fertilizantes en respuesta al escenario de HLB?	¿Se ha incrementado el uso de fertilizantes minerales en respuesta a la incidencia de la enfermedad del HLB en Martínez de la Torre?	Conocimiento y utilización de fertilizantes minerales en parcelas afectadas por el Huanglongbing	Determinar el conocimiento y la percepción de los productores sobre la necesidad de utilizar fertilizantes en sus parcelas Determinar los factores asociados con la utilización o no de fertilizantes balanceados, que incluyan tanto macro como micronutrientes para el manejo del HLB Realizar una caracterización de los productores basada en las características de su explotación agrícola	Evaluar los transcriptos expresados diferencialmente en sanos y enfermos mediante secuenciación. Encuesta: Datos socioeconómicos y productivos, años de experiencia en el manejo de cítricos Conocimiento sobre el uso de fertilizantes, incluyendo las aplicaciones anuales, dosis, tipos de aplicaciones (foliares, al suelo) y épocas de aplicación. Conocimiento sobre la relación entre el uso de fertilizantes y la salud de las plantas Capacitación sobre el uso de otras fuentes de fertilización y otras actividades agrícolas Conocimiento sobre la identificación de síntomas de deficiencia, incidencia de otros productores sobre acciones de manejo,	Se determinará el tamaño óptimo de la muestra y se realizará estadística descriptiva, incluyendo medias y porcentajes. Se analizará la frecuencia de uso de diferentes tipos de fertilizantes, se calcularán índices, se examinarán correlaciones y se aplicará el método de clúster	¿Cuáles son los fertilizantes más utilizados? ¿Cuál es la frecuencia de uso en condiciones de temporal o riego? ¿Cuál es el conocimiento de los productores sobre la fertilización y su relación con las enfermedades? ¿Cuáles son los factores que determinan el uso de fertilizantes? ¿Hay alguna relación con el tipo de productores y el uso de fertilizantes?	Artículos científicos, tesis de licenciatura y maestría, participación en reuniones ejidales, trípticos informativos

Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
¿Los productores emplean elicitores para el manejo de enfermedades en cítricos?	¿Existen elicitores en el mercado que estén demostrando un efecto de recuperación de la salud en plantas enfermas con HLB?	Uso de elicitores como estrategia para el manejo del Huanglongbing (HLB) en la zona central de Veracruz	Realizar un estudio de mercado sobre los elicitores comercializados en Martínez de la Torre Determinar cuáles elicitores utilizan los productores en sus parcelar y porqué los utilizan ¿Cuáles son aplicados en plantas enfermas con HLB? Determinar la percepción de los productores sobre el efecto de los elicitores para el manejo de enfermedades en cítricos	Descripción de los elicitores comercializados y categorizarlos de acuerdo con el ingrediente activo Encuesta para conocer elicitores utilizados Elicitores aplicados en cítricos con HLB Índices sobre conocimiento y percepción de productores sobre el efecto de elicitores en el manejo de enfermedades	Tamaño óptimo de muestra, comparación de índices mediante técnicas no paramétricas, Correlaciones	¿Cuáles son los elicitores comercializados, cuales de ellos se aplican en cítricos? ¿Los productores aplican elicitores para el manejo del HLB? Con base en los ingredientes activos ¿Activan una ruta de señalización específica? Plantear cuáles elicitores potencialmente tendrían un efecto en la recuperación de la salud de árboles enfermos, basándose en el conocimiento de los productores y en el efecto potencial sobre rutas de señalización específicas	Artículo científico, de divulgación, tríptico, congresos, base para el planteamiento de otra investigación sobre la efectividad de los elicitores *in situ*
¿Cuáles son las pérdidas económicas causadas por el HLB en los cultivos de cítricos?	¿Cuáles son las pérdidas económicas ocasionadas por el efecto del HLB en los cultivos de cítricos en Martínez de la Torre?	Impacto del Huanglongbing en la producción de cítricos en Martínez de la Torre, Veracruz	Evaluar la fluctuación de precios de los cítricos dulces y agrios en el mercado local Calcular los costos de producción y rendimiento por hectárea en naranjas, limón Persa, toronjas y mandarina	Precio por kg de fruto fresco Encuesta: Uso de insumos: mano de obra, fertilizantes, insecticidas, herbicidas, otros.	Encuesta: Tamaño óptimo de muestra, estadística descriptiva de datos de productores, análisis clúster. Kruskal-Wallis y comparación de medias no paramétrica. ANOVA y Tukey de datos de evaluaciones *in situ*	Meses con mayor demanda y mejores precios Análisis comparativo de los costos de producción y la utilidad estimada por cada cultivo	Artículos, tesis de licenciatura y maestría, así como la participación en reuniones ejidales y la elaboración de trípticos informativos

Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
				Determinar, a través de encuestas y registros de bitácoras, el historial de producción en jugueras, empacadoras y entre los productores	Bitácora sobre diversidad de enfermedades		
¿Existen variantes genéticas del patógeno del HLB en México?	¿Existen variantes genéticas de la bacteria causal del HLB en el norte, centro y sur del país?	Diversidad genética de Candidatus Liberibacter asiaticus en México	Recopilar el historial de producción de los últimos 10 años por productor, tanto en las jugueras como en las empacadoras Evaluar la percepción de los productores respecto al impacto del HLB en sus cultivos Evaluar el rendimiento in situ en parcelas afectadas por el HLB Describir la incidencia de otras enfermedades que coexisten con el HLB Recolectar muestras de hojas de Citrus sinensis en los estados de Sinaloa, Colima, Veracruz y Yucatán	Encuesta sobre: Conocimiento sobre el vector, identificación de síntomas, acciones de manejo relacionadas con el HLB. Percepción sobre las pérdidas de rendimiento debido al efecto del HLB u otras plagas y enfermedades Identificación de árboles sanos y enfermos de limón persa, naranja, toronja y mandarina mediante PCR Seguimiento del ciclo productivo hasta producción: número de frutos por árbol, peso de frutos por árbol, contenido de grados brix Registro de la incidencia de plagas y enfermedades en parcelas evaluadas Tamaño de muestra representativo de cada sitio	Análisis multivariado (correlación) Realizar dendogramas, determinar el porcentaje de GC, llevar a cabo análisis de redes de similitud y realizar un análisis UMAP utilizando características genéticas	Con base en la percepción, ¿se ha notado una reducción en el rendimiento? En caso afirmativo, ¿a partir de qué año se observó esta reducción y cómo se relaciona con el año de identificación de la enfermedad? Relacionar lo anterior con datos de jugueras y empacadoras Finalmente, ¿qué ocurre in situ? ¿Existen diferencias entre los árboles enfermos y sanos en cuanto a los parámetros productivos? ¿cómo el conjunto de variables se relaciona y cuál es el impacto económico estimado? ¿Hay diversidad o no? ¿Cuál es el porcentaje de similitud entre los genomas?	Artículo científico, congresos, tesis.

Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
			Extraer DNA para cada sitio de muestreo Purificar DNA Secuenciación de genoma de CLas por para cada sitio Análisis bioinformático de resultados	DNA de calidad de mínimo 100 ng uL^{-1}. Genoma secuenciado librerías, análisis y ensamble de secuencias Comparación de genomas		¿Existe alguna relación entre los cambios y las condiciones ambientales específicas de los sitios ¿Existen diferencias entre los genomas reportados en otras zonas citrícolas del mundo ¿Hay alguna relación de alguna variante con los daños observados en campo para ese sitio?	

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN 2 y 3: Conocimiento y utilización de fertilizantes minerales y elicitores en parcelas afectadas por el Huanglongbing

Antecedentes

La fertilización mineral es esencial en la agricultura para mantener niveles de producción económicamente aceptables y en el manejo de enfermedades, ya que una planta bien nutrida puede estar mejor preparada para resistir el ataque de patógenos. En el contexto del HLB (Huanglongbing) de los cítricos, la fertilización balanceada ha demostrado ser una herramienta viable para prolongar la vida productiva de los árboles enfermos. Esto se suma a las acciones de manejo promovidas por la campaña del HLB de los cítricos. Es esencial aplicar el fertilizante de manera correcta en términos de momento, dosis, sitio y fuente para mejorar la eficacia de los programas de fertilización. Ante un escenario de incidencia de HLB, la fertilización ha mostrado ser más efectiva si divide el requerimiento anual de fertilizante en múltiples aplicaciones más pequeñas, administradas gradualmente en dosis menores y más frecuentes. Se ha reportado que las plantas enfermas con HLB incrementan la demanda de nutrientes por afectaciones al sistema vascular y las dosis comúnmente utilizadas, así como la frecuencia de las aplicaciones en campo podrían no ser suficientes para mantener la producción en plantaciones enfermas. Esta información es fundamental para crear programas de fertilización balanceados y mejorar la eficiencia de las aplicaciones con énfasis en las regiones y especies y/o variedades.

Los elicitores, también conocidos como inductores de resistencia, son moléculas capaces de activar el sistema inmunitario de las plantas. Esto ocurre cuando son reconocidos por receptores específicos, lo que desencadena una cascada de señalización que resulta en cambios en la expresión de genes relacionados con la inmunidad. Actualmente, en el mercado existen numerosos productos destinados a la inducción de resistencia. Sin embargo, se sabe poco sobre cuáles de ellos se están utilizando realmente en el manejo del HLB y si son efectivos para restaurar la vitalidad de las plantas enfermas.

En este sentido, un diagnóstico oportuno podría ayudar a identificar los principales elicitores utilizados y los mecanismos asociados con la inducción de defensa en las plantas de cítricos. Este conocimiento sería crucial para determinar la eficacia de estos productos y su impacto en la recuperación de los árboles afectados por el HLB. Tanto los elicitores como el manejo nutricional pueden ser complementarios para el manejo del HLB en México. Sin embargo, es esencial comprender lo que realmente se está implementando para identificar áreas de oportunidad. Esto permitiría realizar evaluaciones futuras con el objetivo de desarrollar estrategias efectivas para el manejo de esta enfermedad.

Objetivo general

Evaluar el manejo de fertilizantes y el uso de elicitores en la producción de cítricos en Martínez de la Torre, Veracruz, mediante el análisis del conocimiento, percepción y prácticas de los productores, así como de los factores asociados con su utilización y efectividad en el manejo del Huanglongbing (HLB).

Objetivos específicos

Determinar el conocimiento y la percepción de los productores respecto a la necesidad de utilizar fertilizantes en sus parcelas.

Determinar los factores asociados con la utilización (o no) de fertilizantes balanceados, tanto macro como micronutrientes.

Realizar una caracterización de los productores basada en las características de su explotación agrícola.

Realizar un estudio de mercado sobre los elicitores comercializados en Martínez de la Torre.

Determinar cuáles elicitores utilizan los productores en sus parcelar y cuales son utilizados para el manejo del HLB.

Determinar la percepción de los productores sobre el efecto de los elicitores para el manejo de enfermedades en cítricos.

Hipótesis

El manejo de fertilizantes y el uso de elicitores en la producción de cítricos estarán determinados por el conocimiento, percepción y prácticas de los productores, así como por factores externos como recursos disponibles y accesibilidad a información técnica.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN 4. Estimación del impacto económico del Huanglongbing de cítricos.

Antecedentes

Los impactos económicos del Huanglongbing (HLB) en el mundo son incalculables y los reportes sobre las afectaciones económicas y sociales son estimaciones realizadas mediante modelos, con muy pocas aproximaciones a un diagnóstico real en las zonas citrícolas importantes, especialmente en México. Las afectaciones del HLB a los árboles están relacionadas con una reducción en el rendimiento y calidad de la fruta, además de la muerte eventual de los árboles enfermos. En plantaciones con incidencia del HLB, los costos de producción se incrementan considerablemente debido a los gastos extra asociados con el manejo de la enfermedad. Todo esto, en conjunto, conduce a la pérdida de empleos directos e indirectos y afectaciones a todos los eslabones de la cadena productiva de los cítricos.

El impacto económico de la enfermedad del HLB en México ha sido poco estudiado y las asociaciones locales han realizado estimaciones sobre el impacto potencial. En Veracruz se estima una reducción en la producción de aproximadamente el 30% por efecto de la enfermedad sin embargo se requiere un estudio riguroso para confirmar el impacto real de la enfermedad en el estado. Lo anterior es fundamental para la toma de decisiones sobre las acciones de manejo a nivel local y regional.

Objetivo general

Estimar las pérdidas económicas directas e indirectas por efeto del HLB en cítricos en Martínez de la Torre.

Objetivos específicos

Evaluar la fluctuación de precios de los cítricos dulces y agrios en el mercado local.

Calcular los costos de producción y rendimiento por hectárea en naranjas, limones persas, toronjas y mandarina.

Recopilar el historial de producción de los últimos 10 años por productor, tanto en las jugueras como en las empacadoras.

Evaluar la percepción de los productores respecto al impacto del HLB en sus cultivos.

Evaluar el rendimiento *in situ* en parcelas afectadas por el HLB.

Hipótesis

Las pérdidas económicas directas e indirectas causadas por el Huanglongbing (HLB) en cítricos en Martínez de la Torre son significativamente mayores en comparación con las áreas no afectadas por la enfermedad. Esto se debe a la disminución de la producción de cítricos, el aumento de los costos de producción, así como los efectos secundarios en la economía local, como la pérdida de empleos y la reducción de ingresos para los productores y trabajadores del sector citrícola.

En la Figura 2 se resume el proceso metodológico para alcanzar la línea de investigación 2, 3 y 4.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN 5. Variabilidad genética de cepas de Candidatus Liberibacter asiaticus en México.

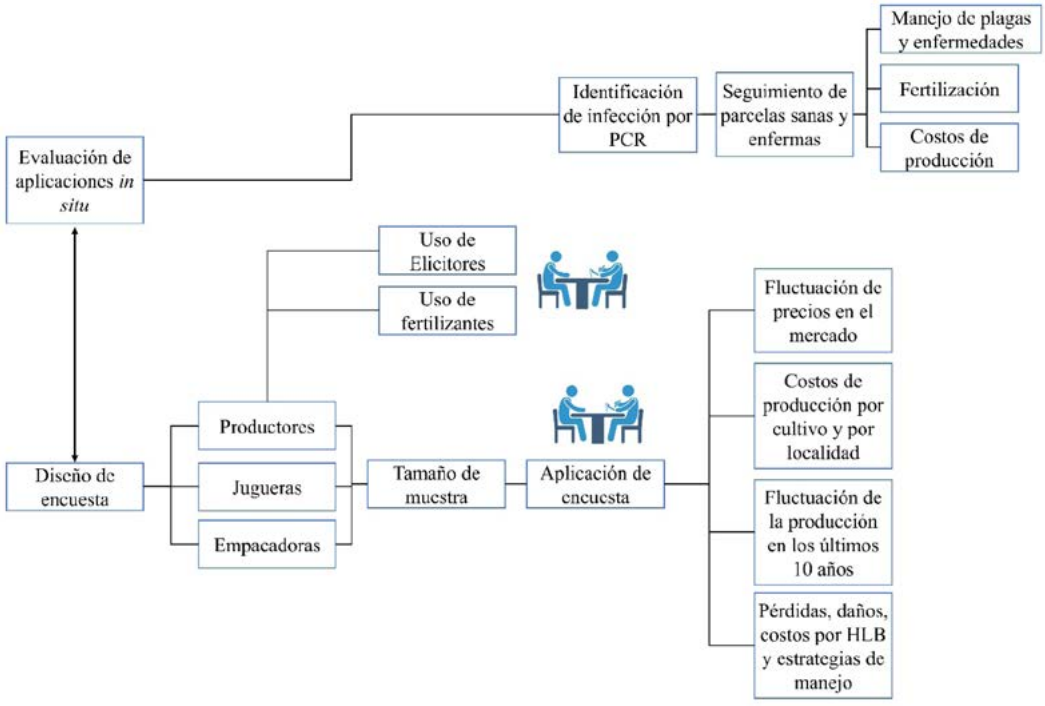

Figura 2. Diagrama de procesos metodológicos para lograr los objetivos en la línea de investigación 2, 3 y 4.

Antecedentes

En el mundo se ha realizado diversos estudios sobre la diversidad genética de *Candidatus* Liberibacter asiaticus, mostrando asociación de la variabilidad genética con la virulencia de la bacteria y su capacidad para la infestación de diferentes variedades de cítricos, lo que ha indicado una adaptabilidad de la bacteria a diferentes condiciones ambientales. En ese sentido, la diversidad de condiciones climáticas en México y la variabilidad en el desarrollo de síntomas y afectaciones sugiere una posible diversidad genética de la bacteria. Lo anterior permitiría comprender mejor la biología y evolución de la bacteria y llevaría al desarrollo de estrategias de manejo más efectivas y específicas para cada zona citrícola.

Objetivo general

Analizar la variabilidad genética de *Candidatus* Liberibacter asiaticus, bacteria causal del HLB, en las regiones del norte, centro y sur del país.

Objetivos específicos

Recolectar muestras de hojas de Citrus sinensis en los estados de Sinaloa, Colima, Veracruz y Yucatán.

Extracción y purificación de DNA para cada sitio de muestreo.

Secuenciación de genoma de CLas por para cada sitio

Análisis bioinformático de resultados y comparación con genomas previamente reportados.

Hipótesis

Existe una variabilidad genética significativa de *Candidatus* Liberibacter asiaticus entre las regiones del norte, centro y sur de México debido a diferencias ambientales, geográficas y de manejo agronómico, lo cual podría asociarse con la patogenicidad y el nivel de daño mostrado en campo.

En la Figura 3 se resume el procedimiento metodológico para lograr el objetivo planteado en la línea de investigación 5.

Figura 3. Diagrama de procedimiento metodológico para lograr el objetivo de la línea de investigación 5.