

## 7. Influencia de la variabilidad climática y el incremento de plagas y enfermedades en frutales



HUMBERTO MATA ALEJANDRO\*  
MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ\*\*  
LUIS ALFONSO AGUILAR-PÉREZ\*\*\*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.07>

### Resumen

Existen casos en los que las plagas se ven atraídas por las plantas que sufren por estrés hídrico debido a sequías por cambio climático. Otra causa de estrés por sequía es la disminución de compuestos metabólicos que ayudan en la defensa ante el ataque de plagas. Las tormentas y vientos huracanados pueden transportar esporas de patógenos a grandes distancias, incluso de un continente a otro. El incremento en las temperaturas, así como los eventos climatológicos extremos que dan lugar a tormentas y huracanes, maximizan el potencial de riesgo de enfermedades. La variabilidad climática está influyendo directamente sobre el incremento de incidencia de plagas y enfermedades en los frutales, sobre todo en las zonas subtropicales y tropicales. Generar investigación sobre el comportamiento, distribución y adaptación de las plagas de mayor importancia, y de aquellas que pueden llegar a convertirse en plagas potenciales, es importante. Existen vacíos de conocimiento en plagas de suelo, ya que la mayoría de los estudios realizados se han centrado en el efecto en plagas y vectores que se encuentran sobre la superficie de la tierra.

---

\* Doctor en Ciencias Agropecuarias. Profesor, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9381-9159>

\*\* Doctora en Ciencia y Tecnología Ambiental. Profesora, Instituto Tecnológico de Boca del Río. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9209-0431>

\*\*\* Doctor en Fitosanidad-Fitopatología, Colegio de Postgraduados. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9365-7233>

**Palabras clave:** *variabilidad climática, plagas, enfermedades, frutales.*

## Introducción

Desde el inicio de la agricultura, los cultivos se han visto amenazados por múltiples plagas y enfermedades causantes de pérdidas en los rendimientos. Estas pérdidas oscilan entre 10 y 28 % de la producción mundial de alimentos (Savary et al., 2019). De acuerdo con la evidencia científica recabada en los últimos años, se anticipa que el cambio climático tendrá consecuencias severas en ámbitos económicos, sociales y ambientales a nivel global; en este sentido, la producción de alimentos se verá mermada debido a factores clave como la variabilidad de las temperaturas y la disponibilidad de agua, así como por la sanidad de los cultivos derivado del ataque de plagas y enfermedades. El cambio climático ya está afectando los sistemas agrícolas en varias regiones del mundo; según el Sexto Informe de Evaluación del Panel Internacional del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el cambio climático es evidente en los escenarios y eventos extremos de clima, en sus impactos y en los daños relacionados con la naturaleza y las personas, más allá de la variabilidad natural.

Esto incluye el aumento de la temperatura y el incremento en la mortalidad de árboles relacionada con la sequía e incendios forestales, lo que pone en riesgo la seguridad alimentaria, en la medida en que obstaculiza los esfuerzos que se llevan a cabo para cumplir los objetivos del desarrollo sostenible (IPCC, 2022). De acuerdo con Telenchana-Paucar (2020), el cambio climático es un factor importante que afecta la abundancia de muchas especies de insectos al prolongar la temporada de crecimiento, cambiar el momento de aparición, aumentar la tasa de crecimiento y desarrollo, acortar el período de reproducción y reducir su mortalidad en la etapa invernal.

La producción agropecuaria es una de las actividades más importantes para la seguridad alimentaria y la supervivencia de otras especies vivientes; no obstante, sus efectos sobre la biodiversidad están siendo cada vez mayores, en parte por actividades como la agricultura y ganadería intensivas, que, de seguir esta tendencia, sufrirán una pérdida aproximada de 25 % de espe-

cies de flora y fauna en los próximos 50 años (Lanz et al., 2018). Así mismo, la variabilidad climática puede afectar los rendimientos y la producción de alimentos mediante diversos mecanismos. Entre los factores de mayor importancia se encuentran los incrementos en la frecuencia de estrés por elevación de temperatura en el ciclo reproductivo de las plantas (Gourdji et al., 2013), el aumento en el estrés hídrico debido a la disminución o aumento de lluvia (IPCC, 2013), y la reducción en los ciclos de crecimiento a causa de las elevadas temperaturas (Vaghefi et al., 2013).

Por otra parte, la emisión de gases de efecto invernadero es consistente y se prevé un aumento de al menos 2°C respecto al valor previo a la Revolución Industrial (Stern, 2008). Todas estas alteraciones, en su conjunto, anticipan consecuencias negativas en los rendimientos de cultivos agrícolas, si se tiene en cuenta los escasos esfuerzos gubernamentales por mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y CO<sub>2</sub> (Luck et al., 2011). En este sentido, el cambio climático ya presenta efectos negativos en los rendimientos de diversos cultivos como el café y otras especies (Seo y Mendelsohn 2008; Craparo et al., 2015). Es posible que en un inicio el calentamiento moderado del planeta beneficie la producción de cultivos en las regiones templadas y perjudique a las regiones semiáridas y tropicales. Sin embargo, si el calentamiento continúa más allá de la mitad del siglo, la producción en todas las regiones del planeta se verá afectada de manera negativa (Tubiello y Rosenzweig, 2008); la vulnerabilidad de los países dependerá, entre otras cosas, de sus condiciones geográficas y del tipo de cultivos que produzcan o puedan producir.

Además, los insectos plaga destruyen hasta 40 % de la producción agrícola por año a nivel global, mientras que el daño por patógenos en las plantas cuesta alrededor de 220 000 millones de dólares (también a nivel mundial), debido, entre otras cosas, a la globalización, que conlleva amenazas de introducción y propagación de nuevas especies invasoras causantes de daños en regiones en donde antes nunca habían estado presentes; además del cambio climático, que fomenta, a su vez, la propagación de nuevos nichos para que las plagas colonicen y se desarrollen (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés], 2023). Uno de los temas a los que se le dedica más atención en la actualidad es la manera en que el cambio climático

puede afectar el desarrollo y la fisiología de las plantas, así como su interacción con las plagas.

Los insectos son organismos con metabolismo ectotérmico; es decir, dependen principalmente de fuentes de calor externas y su temperatura corporal está regulada por los cambios de la misma en el medio ambiente; por lo que el efecto directo del cambio climático sobre los insectos se ha asociado, principalmente, al incremento de la temperatura, aunado a cambios en el régimen de precipitación, las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico y el aumento en la radiación, sin dejar de lado las interacciones planta-herbívoros y sus enemigos naturales (Quesada-Moraga, 2011). Un aspecto relevante derivado de las concentraciones de CO<sub>2</sub> es la relación carbono-nitrógeno (C:N) en el suelo, ya que el incremento de C:N disminuye la calidad nutrimental del material vegetal y esto puede ocasionar cambios en el comportamiento y desarrollo de las plagas, con una mayor repercusión en los insectos masticadores, que en insectos chupadores (Ji et al., 2011).

Se debe tomar en cuenta que, de acuerdo con García et al. (2012), la distribución de una especie está articulada según las variaciones de temperatura, humedad y precipitación a lo largo del gradiente altitudinal, de tal manera que un modelo de estudio debe estimar el cambio climático y la distribución de especies (Zacarías-Eslava y Castillo, 2010; Sáenz et al., 2010). Los cultivos, sobre todo de los trópicos, tienden a sufrir más los embates de plagas que los cultivos de clima templado; sin embargo, no se sabe a ciencia cierta en qué futuros se volverá un problema las interacciones de cultivo y plagas, y en qué regiones geográficas (Shaw y Osborne, 2011).

Numerosos insectos herbívoros, incluyendo a casi la mitad de los que se alimentan de plantas cultivadas de importancia económica, consumen tejidos vegetales en desarrollo que sólo están disponibles por poco tiempo, lo cual implica que son muy susceptibles a las modificaciones del clima, sobre todo de las oscilaciones de temperatura. En ambos casos, tanto plantas como insectos se ven afectados; las plantas, en su fenología, y los insectos, al incrementar sus mecanismos metabólicos, de reproducción, supervivencia, propagación y dinámica poblacional; no obstante, si la respuesta a ese cambio es más rápida en uno de ellos, el otro tendrá problemas con el medio ambiente y de paso con sus enemigos naturales (Prakahs et al., 2014).

La variabilidad en el clima interfiere en el desarrollo del ciclo de los insectos plaga, lo que genera una relación inversa entre el ciclo de vida y la variación térmica; es decir, al incrementarse la temperatura se acorta el ciclo de vida de la plaga, esto dificulta la planificación de un control efectivo de estas (Futurcrop, 2023). Lo anterior puede afectar la diapausa de los insectos, por lo que el impacto del cambio climático sobre ellos estará supeditado a los efectos del cambio; esto puede tener resultados contrapuestos con una expansión del área de distribución de especies. De acuerdo con los estudios de Bebber (2013), insectos plaga tales como ácaros, diversos coleópteros, dípteros y lepidópteros, tienen un desplazamiento promedio de 2.7 kilómetros por año hacia los polos e incrementos de sus poblaciones y la patogenicidad de esporas; sin embargo, el cambio climático puede tener un efecto inverso en una misma especie sobre su zona de distribución (Quesada-Moraga et al., 2011; Tonnang, 2015).

Algunos estudios avalan los problemas causados por epidemias de plagas y enfermedades, como es el caso del tizón de la hoja en cultivos como el maíz que generó pérdidas estimadas en 15 % en los años setenta en Estados Unidos, lo que equivale a una pérdida energética (kcal) de aproximadamente 18 500 trillones de calorías que dejaron de aportarse a diversas actividades pecuarias y humanas (Rubenstein et al., 2005; Heinemann et al., 2013). En Sudamérica, específicamente en Brasil, se espera un incremento en las poblaciones de nematodos del café y de minadores de hojas, derivado de un aumento en el número de generaciones en un mes en comparación con las condiciones climáticas del periodo 1961-1990 (Ghini et al., 2008). En este sentido, insectos plaga como los hemípteros resultan susceptibles a las variaciones de temperatura debido a que su ciclo de vida es corto; desde el punto de vista ecológico, cuentan con una alta capacidad de reproducción y de dispersión para explorar nuevos hábitats, lo que facilita la transmisión de ciertos virus: potyvirus, cucumovirus y los luteovirus, agentes causantes de patologías en cultivos como el melón, el tomate, entre otros.

Otro aspecto que agregar es el efecto que la variabilidad climática provocará en el metabolismo de las plantas, lo que tendrá implicaciones en el nivel de resistencia genética hacia los vectores virales; pues se pronostica que agentes virales transmitidos por insectos vectores emergerán con mayor regularidad, extendiéndose a nuevas áreas y complicando las

medidas de control y mitigación, lo que dificultará y encarecerá los sistemas productivos ante nuevos escenarios climáticos (Bueso, 2018). Otro factor abiótico capaz de afectar las poblaciones de insectos plaga es la lluvia; en este sentido, tanto la frecuencia como la intensidad alteran los patrones de supervivencia de los insectos, ya que en algunos casos sus huevecillos y larvas son arrastrados; de tal manera que la magnitud de la lluvia puede afectar insectos de cuerpo pequeño —ácaros y áfidos—, y la variabilidad de las lluvias puede dañar a plagas del suelo.

Existen casos en los que las plagas se ven atraídas por las plantas que principalmente sufren por estrés hídrico producto de sequías (Seidel, 2014; Bois et al., 2017; Funk et al., 2018)); esto se debe a que las plantas pierden humedad por el proceso de transpiración, lo que da pauta a que las columnas de agua en el xilema se rompan, generando así una emisión acústica que es detectada por coleópteros descortezadores (Demey et al., 2023). Otra causa de estrés por sequía es la disminución de compuestos metabólicos que ayudan en la defensa ante el ataque de plagas (Yidhego et al., 2019). De esta manera, la variabilidad en el clima puede tener un efecto en la transmisión de virus en cultivos agrícolas; la transmisión, de huésped a huésped, se hace por medio de insectos vectores como los pulgones y la mosquita blanca; además, como ya se mencionó anteriormente, el clima altera la fisiología y fenología, e indirectamente lo hace con los virus que se propagan (Trebicki et al., 2020).

De acuerdo con la predicción de los escenarios climáticos existe el riesgo de un aumento de la actividad ciclónica en las zonas tropicales, lo que tendrá como consecuencia la propagación de *B. tabaco*; así mismo, el escenario de sequía podría disminuir la tasa de supervivencia e influir en el tamaño y diseminación de sus poblaciones (Trebicki et al., 2016). De igual manera, los áfidos pueden recorrer largas distancias si las condiciones térmicas son favorables, y los movimientos del aire atmosférico que los expone ayudan al desplazamiento horizontal (Ferrerres e Irwin, 2017).

En verano, la escasez de lluvias y las altas temperaturas reducen la disponibilidad de huéspedes, lo que supone un reto para los vectores y virus en vista de que las temperaturas superiores a 36°C en el verano disminuyen la subsistencia de los áfidos, y por ende la propagación de los virus. Además, las tormentas y vientos huracanados pueden transportar

esporas de patógenos a grandes distancias, incluso de un continente a otro como, por ejemplo, la propagación de la roya originada por *Puccinia graminis* (Prank et al., 2019).

## **Plagas de importancia económica que impactan en la fruticultura tropical por la variabilidad climática (algunos casos)**

### ***Batrocera dorsalis* y *Ceratitis capitata***

Los tetrífidos causan daños económicos importantes en la fruticultura, pues sus larvas se desarrollan en la fruta. La familia de esta plaga comprende algunas especies invasoras como la *Batrocera dorsalis* y *Ceratitis capitata*, que se alimentan de diversas especies frutales. *Batrocera olea* no sólo se encuentra en otras partes del mundo, también ha invadido California y México, recientemente (Commonwealth Agricultural Bureaux International [CABI], 2021). *Batrocera dorsalis* se desarrolla en climas tropical y subtropical, pero las alteraciones por la variabilidad climática podrían permitir que esta especie incurriere en áreas templadas por medio del comercio de fruta (Organización Europea y Mediterránea para la Protección Vegetal [EPPO, por sus siglas en inglés], 2021). En el caso de *C. capitata*, se encuentra en varias regiones del mundo, incluyendo América Central, puede pasar el invierno en zonas más templadas en etapa de larva y como fruta almacenada, y es posible que, de este modo, se disemine a través del comercio de cítricos (Fedchok et al., 2006).

### ***Rhynchophorus ferrugineus***

El picudo rojo de las palmeras, *R. ferrugineus*, es una plaga originaria de Asia que se detectó en 2010 en California, Estados Unidos. Sus larvas se alimentan de la parte apical de las palmas, incluyendo palmeras de coco y datileras (El-Mergawy y Al-Ajlan, 2011), con una infestación de 1 a 5 % de su población, lo que ha causado pérdidas anuales por 15 millones de dólares

(Al-Ayedh, 2017). La expansión del picudo hacia otras latitudes en el mundo se debe, probablemente, a la distribución de material vegetal (plántulas) a otros países de Oriente, Europa, África y América; en esta última zona se dio por erradicado en 2015. De acuerdo con estudios realizados por Ge et al. (2015), el picudo rojo puede expandirse debido al cambio climático, por lo que las estrategias de control de esta plaga incluyen medidas culturales, fitosanitarias y biológicas; sin embargo, aún se considera como el principal reto para los productores del sector ornamental de palmas.

### ***Diaphorina citri***

El psílido asiático (*Diaphorina citri*) de los cítricos es una especie originaria de Asia tropical y subtropical que se ha extendido hacia América y África. Fue reportada por primera vez en Florida, y en la actualidad se ha dispersado por otros estados (Halbert et al., 2010). El psílido asiático es vector de la bacteria *Candidatus liberibacter*, agente causal del *huanlongbing* (HLB) en los cítricos que es considerada la enfermedad más dañina en el mundo de estos frutales. Algunos estudios previos sobre el riesgo asociado al psílido asiático y, consecuentemente, a la dispersión de HLB en México, clasifican prácticamente todas las áreas citrícolas del país como zonas de alto riesgo para la infección de HLB (Díaz et al., 2010; Aldama-Aguilera et al., 2011). De acuerdo con un estudio hecho por Rodríguez et al. (2023), el psílido asiático está presente en 38.6 % del territorio mexicano, y los autores opinan que en escenarios futuros podría variar de 11 a 25 % de la cifra actual, pues el potencial de riesgo aumentaría derivado del incremento en la superficie de cítricos. En este sentido, los estados costeros y las penínsulas de Yucatán y Baja California son las áreas idóneas y, por lo tanto, de mayor riesgo para el desarrollo del psílido asiático y, con ello, la dispersión del HLB (López et al., 2013).

Una característica común en los estudios realizados sobre este tema es que en su metodología asignan un peso similar a la superficie plantada con cítricos y las particularidades agrometeorológicas de esas zonas. A pesar de que el psílido asiático es una plaga devastadora de los cítricos, se ha encontrado en diversos estudios que la variabilidad climática no es un

factor que pueda multiplicar el daño que hace —debido a incrementos de la temperatura y la humedad—, pues existe una correlación negativa en contra de la actividad de vuelo del psílido asiático, con lo cual su dispersión se vería limitada (Johnston et al., 2019); sin embargo, el psílido asiático puede desplazarse en diferentes parámetros de temperatura y humedad (aunque en temperaturas superiores a 40°C perjudica su capacidad de desplazamiento) (Antolínez et al., 2021). Otro componente que reduce las poblaciones de esta plaga es la altura superior a los 600 m, lo que puede ser consecuencia de la combinación entre diversos elementos como la presión del aire, la oxigenación, los rayos UV y la temperatura (Jenkins et al., 2015).

## **Enfermedades que impactan en la fruticultura tropical por la variabilidad climática (algunos casos)**

### ***Fusarium oxysporum***

Es un patógeno del suelo que se distribuye ampliamente en distintas regiones de América en varios cultivos; entre ellos, la palma de aceite y el plátano (Rodríguez, 2020). Este fitopatógeno es causante del marchitamiento en el cultivo del banano en Colombia y otras muchas partes del mundo, independientemente de la superficie ocupada y su producción (García-Bastidas et al., 2019; Mostert et al., 2017). El *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical, actualmente reclasificado como *Fusarium odoratissimum*, está considerado como una gran amenaza para la producción de banano en todo el mundo (Maryani et al., 2019).

El incremento en las temperaturas en un rango de 24 a 34°C, así como los eventos climatológicos extremos que dan lugar a tormentas y huracanes, maximizan el potencial de riesgo de la enfermedad; principalmente, cuando existe saturación hídrica en los perfiles de suelo donde se cultiva la variedad Cavendish de banano (Pegg et al., 2019). La enfermedad causada por Fusariosis de las musáceas es tipificada como cuarentenaria, ya que puede provocar afectaciones hasta de 40 % en superficies de hasta 1 300 millones de hectáreas (Dita et al., 2018) y, de acuerdo con los pronósticos y modelos

cartográficos de zonificación, las afectaciones abarcarían desde México, hasta Centro y Sudamérica (Ibarra-Zapata et al., 2021).

### ***Phytophthora spp* y otros oomicetos**

Este hongo fitopatógeno es el origen de un sin número de enfermedades en la fruticultura a nivel mundial. Se trata de un oomiceto ampliamente estudiado que pertenece al género *Phytophthora* y causa importantes pérdidas en la agricultura actual (Savary et al., 2019; Wilches-Ortiz, 2013). Bebber et al. (2013) consideran que los efectos de la variabilidad climática desplazarán a los oomicetos hacia los polos, principalmente, hacia el hemisferio norte. En la actualidad, existe una proliferación de enfermedades causadas por este género de oomicetos, que provocan pudriciones de raíz; un ejemplo es la enfermedad del cancro, que afecta a más de 1 000 especies en zonas templadas y tropicales en el mundo, y que es causada por el pseudohongo *Phytophthora cinnamomi*.

Otro oomiceto significativo a nivel mundial es el *Plasmopara viticola*; conocido como *mildiú veloso de la vid*, este patógeno produce pérdidas importantes no sólo en el cultivo, sino también en la industria del vino, afectando su calidad; se considera que las pérdidas van de 5 a 40 % en las diversas regiones vitivinícolas del mundo. De acuerdo con las zonas en las que se presenta este patógeno (generalmente de clima templado), un aumento en las temperaturas potenciaría la presencia de la enfermedad. De este modo, las proyecciones nos indican escenarios con mayor presencia de la afección, lo que implicará mayores esfuerzos por controlar futuros brotes de esta (Salinari et al., 2006, 2007; Gullino et al., 2018; Angelotti et al., 2017).

### **Roya del caféto *Hemileia vastarix***

La aparición de la roya en los últimos años como una epidemia, con efectos devastadores, parece estar relacionada a una combinación de factores económicos y meteorológicos (Avelino et al., 2015). Los periodos de incubación y de latencia pueden sufrir aumentos o disminuciones en sus tiempos de

desarrollo dependiendo de las condiciones climáticas (Rivillas et al., 2011). Recientes estudios han evidenciado cómo los cambios del clima tendrán efectos negativos en el cultivo de café en los siguientes años (Laderach et al., 2010; Imbach et al., 2017). Se esperan variaciones en las distribuciones actuales de este cultivo y, por consiguiente, cambios en la distribución y afectaciones a las plagas y enfermedades asociadas al cultivo, así como a la diversidad benéfica asociada (Guerrero et al, 2020; Chain-Guadarrama et al, 2019).

En algunas zonas de Brasil los escenarios futuros, de acuerdo con los modelos de predicción, muestran un incremento de hasta 14.2 % en la incidencia de la enfermedad de la roya del cafeto con periodos de incubación inferiores a los 19 días y con muy alta severidad de la enfermedad. La variabilidad temporal sigue una dinámica en la que se espera que disminuya en los meses de invierno y se incrementará en los periodos estacionales de calor y lluvia (Alfonsi et al., 2019). A su vez, se ha proyectado que el problema de la roya del cafeto estará presente en prácticamente todo Centroamérica entre los años 2041 al 2060.

## Consideraciones finales

De acuerdo con los antecedentes aquí descritos, se puede considerar que existe evidencia suficiente de que la variabilidad climática está influyendo directamente sobre el incremento de incidencia de plagas y enfermedades en todos los cultivos a nivel mundial, sobre todo en las zonas subtropicales y tropicales. Los elementos climáticos como la temperatura y las lluvias son los componentes esenciales, sin lugar a duda, y de mayor impacto en el desarrollo de las poblaciones de plagas y enfermedades a nivel mundial. Conviene considerar que las actividades antropogénicas han tenido consecuencias graves en el medio ambiente, lo que ha impactado en los elementos climáticos que favorecen el desarrollo y diseminación de plagas y patógenos que son capaces no sólo de terminar con las cosechas, sino que se han convertido en verdaderas epidemias a lo largo de los últimos 40 años.

Cabe mencionar que el impacto de las plagas y enfermedades en los diferentes agroecosistemas tropicales, entre ellos el ramo frutícola, variará

dependiendo de las diferentes prácticas y manejo de los huertos. Así, el uso indiscriminado de pesticidas es un factor que incidirá tanto en la contaminación del medio ambiente como en la resistencia de algunas plagas. La resiliencia y capacidad del entorno ambiental para adaptarse y reponerse a estas circunstancias dependerá de la posibilidad evolutiva de los ecosistemas (Sield et al., 2017).

En este sentido, tomar acción sobre la variabilidad climática dependerá de todos en su conjunto. De acuerdo con las tendencias, no obstante, revertir las consecuencias a corto plazo será difícil. Aunque en el área agrícola también hay mucho por hacer y si bien es necesario cambiar paradigmas con respecto a la agricultura convencional, de igual manera se requerirá de los avances biotecnológicos y nanotecnológicos para combatir de manera inteligente los embates biológicos en la agricultura. Sin duda alguna, con toda la evidencia científica que existe en la actualidad se deberán tomar medidas de control y monitoreo en zonas en donde existe la amenaza de plagas y enfermedades que están arraigadas desde hace muchos años, en vista de que la efectividad en su control y erradicación, bajo las circunstancias de variabilidad climática, se verán afectadas por la agravada situación.

Por lo anterior es de suma importancia seguir generando investigación sobre el comportamiento, distribución y adaptación no sólo de las plagas de mayor importancia, sino también de aquellas que debido a las condiciones cambiantes pueden llegar a convertirse en plagas potenciales. Incluso existen vacíos de conocimiento en plagas de suelo, ya que la mayoría de los estudios realizados se han centrado en el efecto en plagas y vectores que se encuentran sobre la superficie de la tierra, y en el efecto sobre la interacción de plagas y patógenos con sus enemigos naturales y antagónicos.

Es preciso también intensificar el intercambio de información en materia comercial a nivel internacional sobre la importación y exportación de alimentos, plantas y animales que puedan llegar a propagar plagas y enfermedades. Los marcos regulatorios, así como la elaboración de políticas en materia de riesgo fitosanitario están homologadas en todo el mundo gracias a la Comisión de Medidas Fitosanitarias (CMF), que forma parte de la FAO y que cuenta con más de 100 normas internacionales para medidas fitosanitarias, incluyendo todos los aspectos sobre cuarentena de plantas.

Por su parte, México presidió durante dos años (2018-2020) dicha co-

misión (CMF), y en la decimocuarta reunión se abordaron diversos temas de interés fitosanitario, llegando a denominar el año 2020 como el Año Internacional de la Sanidad Vegetal, con la finalidad de hacer conciencia sobre la importancia socioeconómica de la sanidad vegetal. En cuanto a las acciones en materia de fitosanidad, México dispone del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria (Senasica), donde actualmente se realizan vigilancias epidemiológicas con 30 plagas que son prioridad de atención en los principales cultivos del país, incluyendo frutales tales como cítricos, mango, durazno, ciruelo, chabacano, manzana y fresa. Así mismo, se da seguimiento con técnicos especializados, profesionales en trapeo preventivo y auxiliares de campo en las 32 entidades federativas del país (Senasica, 2023).

Por último, es importante dejar en claro que esto es una tarea de todos, principalmente, de las instituciones y gobiernos en el mundo, y que la cooperación internacional es clave para enfrentar un problema global, de manera que se puedan evitar futuras epidemias de las plagas ya descritas y de otras emergentes que en un momento dado puedan impactar significativamente en la producción de alimentos y en la seguridad alimentaria. Con acciones como el uso eficiente del agua, las prácticas agroecológicas, el uso de biotecnología, la agricultura de precisión y el apoyo de la comunidad científica interdisciplinaria, podremos hacer frente de manera eficaz al ataque de plagas y enfermedades que en algunos casos representa todo un desafío a causa de la variabilidad climática.

## Referencias

- Aldama, A., Olvera, V., y Galindo, M. (5-6 de diciembre del 2011). *Reportes epidemiológicos de HLB* [Memoria]. 2do Simposio Nacional sobre la investigación para el manejo del Psilido Asiático de los Cítricos y el Huanglongbing en México, Montecillo, Estado de México, México.
- Alfonsi, W., Coltri, P., Zullo, J., Patricio, F., Gonçalves, R., Shinji, K., Alfonsi, E., y Koga-Vicente, A. (2019). Geographical distribution of the incubation period of coffee leaf rust in climate change scenarios. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54.
- Al-Ayedh, H. Y. (27-31 de marzo de 2017). *The current state of the art research and technologies on RPW management* [Presentación]. Scientific Consultation and High-Level Meeting on Red Palm Weevil Management, Roma, Italia.

- Angelotti, F., Hamada, E., Magalhaes, E., Ghini, R., Garrido, L., y Junior, M. (2017). Climate change and the occurrence of downy mildew in Brazilian grapevines. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 52, 426-434.
- Antolinez, C., Moyneur, T., Martini, X., y Rivera, M. (2021). High Temperatures Decrease the Flight Capacity of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). *Insectos*, 12(5).
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A., y Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7, 303-321.
- Bebber, D., Ramotowski, M., y Gurr, S. (2013). Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature Clim Change*, 3, 985-988. <https://doi.org/10.1038/nclimate1990>
- Bueso, G. (2018). El cambio climático afectará a las estrategias de control de enfermedades y plagas. *Phytohemeroteca*, 301.
- Chain, G., Martínez, R., Cárdenas, J., Vílchez, M., y Harvey, C. (2019). Uso de prácticas de adaptación basada en ecosistemas por pequeños cafetaleros en Centroamérica. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 1-18.
- Craparo, A., Van Asten, P., Ländlerach, P., Jassogne, L., y Grab, S. (2015). Coffea arabica yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, 1-10.
- Díaz, P., Mora, A., López, A., Guajardo, P., y Sánchez C. (8-12 de noviembre de 2010). *Modelación espacial en zonas de riesgo agroclimática para el desarrollo de Diaphorina citri en zonas citrícolas del estado de Veracruz. Caso de estudio de naranja*. XIV Simposio Internacional SELPER, Guanajuato, México.
- Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E., y Staver, C. (2018). Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1468.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization. (s.f.). *Bactrocera dorsalis* (DACUDO) [Entrada: Distribución]. EPPO Global Database. <https://gd.eppo.int/taxon/DACUDO/>
- El-Mergawy, R., y Al-Ajlan, A. (2011). Red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier): Economic importance, biology, biogeography and integrated pest management. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 1, 1-23.
- Ferreres, A., Irwin, M., y Kampmeier, G. (2017). Movimiento de áfidos: proceso y consecuencias. En H. F. van Emden y R. Harrington (Eds.), *Aphids as Crop Pests* (pp. 196-224). CABI Publishing.
- Futurcrop (s.f.). *El cambio climático y el momento de tratamiento de plagas*. Futurcrop. <https://futurcrop.com/cambio-climatico-y-control-de-plagas/>
- García-Bastidas, F., Quintero-Vargas, Ayala-Vásquez, M., Schermer, T., Seidl, M., Santos-Paiva, M., y Noguera A. (2020). First report of Fusarium wilt tropical race 4 in Cavendish bananas caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. *Plant Disease*, 104 (3).
- García López, A., Micó, E., y Galante, E. (2012). From lowlands to highlands: searching

- for elevational patterns of species richness and distribution of scarab beetles in Costa Rica. *Diversity and Distributions*, 18(6), 543-553.
- Ge, X., He, S., Wang, T., Yan, W., y Zong, S. (2015). Potential distribution predicted for *Rhynchophorus ferrugineus* in China under different climate warming scenarios. *PLOS One*, 10(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141111>
- Gourdji, S., Sibley, A., y Lobell, D. (2013). Global Crop Exposure to Critical High Temperatures in the Reproductive Period: Historical Trends and Future Projections. *Environmental Research Letters*, 8(2).
- Guerrero-Carrera, J., Jaramillo-Villanueva, J., Mora-Rivera, J., Bustamante-González, A., Vargas-López, S., y Chulim-Estrella, N. (2020). Impacto del cambio climático sobre la producción de café. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(71), 1-18.
- Gullino, M., Pugliese, M., Gilardi, G., y Garibaldi, A. (2018). Effect of increased CO<sub>2</sub> and temperature on plant diseases: A critical appraisal of results obtained in studies carried out under controlled environment facilities. *Journal of Plant Pathology*, 100, 371-389.
- Ghini, R., Hamada, E., Junior, M., Marengo, J., y Goncalves, R. (2008). Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43, 187-194.
- Halbert, S., Manjunath, K., Ramadugu, C., Brodie, M., Webb, S., y Lee, R. (2010). Remolques que transportan naranjas a las plantas de procesamiento mueven psílicos asiáticos de los cítricos. *Florida Entomology*, 93, 33-38.
- Heinemann, J., Massaro, M., Coray, D., Agapito-Tenfen, S., y Wen, J. (2013). Sustainability and innovation in staple crop production in the US Midwest. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 12(1), 71-88.
- Ibarra-Zapata, E., Aguirre-Salado, C. A., Miranda-Aragón, L., Escoto-Rodríguez, M., Loredano-Osh, C., Mora Aguilera, G., y González-Gómez, R. (2021). Análisis geoespacial fitosanitario de la Fusariosis de las Musáceas a nivel global, con énfasis en América Pantropical. *Investigaciones Geográficas*, 106.
- Imbach, P., Fung, E., Hannah, L., Navarro-Racines, C., Roubik, E., Ricketts, T., Harvey, C., Donatti, C., Laderach, P., Locatelli, B., y Roehrdanz, P. (2017). Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(39), 10438-10442.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). *Climate change 2013: The physical science basis* [Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change]. IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2022). Impacts, Adaptation and Vulnerability. En H.-O. Pörtner, D. Roberts, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem y B. Rama (Eds.), *Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Jenkins, D., Hall, D., y Goenaga, R. (2015). *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) Abundance in Puerto Rico Declines with Elevation. *Journal of Economic Entomology*, 108(1), 252-258.

- Ji, L., An, L., y Wang, X. (2011). *Insect. Science*, 18, 409-418.
- Johnston, N., Stelinski, L., y Stansly, P. (2019). Patrones de dispersión de *Diaphorina citri* (Kuwayama) (Hemiptera: Liviidae) influenciados por el manejo de los cítricos y los factores abióticos. *Florida Entomology*, 102, 168-173.
- Laderach, P., Lundy, M., Jarvis, A., Ramírez, J., Pérez Portilla, E., Schepp, K., y Eizinger, A. (2011). Predicted impact of climate change on coffee supply chains. En W. Leal Filho (Ed.), *The Economic, Social and Political Elements of Climate Change* (703-723). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-14776-0\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14776-0_42)
- Lanz, B., Dietz, S., y Swanson, T. (2018). The Expansion of Modern Agriculture and Global Biodiversity Decline: An Integrated Assessment. *Ecological Economics*, 144, 260-277. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.018>
- López-Collado, J., López-Arroyo, J., Robles-García, P., y Márquez-Santos, M. (2013). Geographic distribution of habitat, development, and population growth rates of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, in Mexico. *Journal of Insect Science*, 13(1).
- Luck, J., Spackman A., Freeman M., Trębicki P., Griffiths W., Finlay K., y Chakraborty, S. (2011). Climate change and diseases of food crops. *Plant Pathology*, 60, 113-12.
- Maryani, N., Lombard, L., Poerba, Y., Subandiyah, S., Crous, P., y Kema, G. (2019). Phylogeny and genetic diversity of the banana Fusarium wilt pathogen *Fusarium oxysporum*, f. sp. *cubense* in the Indonesian centre of origin. *Studies in Mycology*, 92, 155-194. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.06.003>
- Mostert, D., Molina, A., Daniells, J., Fourie, G., Hermanto, C., Chao, C., Fabregar, E., Sinohin, V. G., Masdek, N., Thangavelu, R., Li, Ch., Yi, G., Mostert, L., y Viljoen, A. (2017). The distribution and host range of the banana Fusarium wilt fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, in Asia. *PLOS One*, 12(7).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023). Día Internacional de la Sanidad Vegetal, 12 de mayo. FAO. <https://www.fao.org/plant-health-day/es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020). *Red palm weevil: Guidelines on management practices*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca7703en>
- Pegg, K., Coates, L., O'Neill, W., y Turner, D. (2019). The epidemiology of Fusarium wilt of banana. *Frontiers in Plant Science*, 10.
- Prakash, A., Rao, J., Mukherjee, A., Berliner, J., Pokhare, S., Adak, T., Munda, S., y Shashank, P. (2014). *Climate Change: Impact on Crop Pests*. Applied Zoologists Research Association.
- Prank, M., Kenaley, S., Bergstrom, G., Acevedo, M., y Mahowald, N. (2019). Climate change impacts the spread of wheat stem rust, a significant crop disease. *Environmental Research Letters*, 14.
- Quesada-Moraga, E. (2011). Plagas de insectos y Cambio Climático. *Phytoma España* 232, 21-31.
- Rivillas Osorio, C., Serna Giraldo, C., Cristancho Ardila, M., y Gaitan Bustamante, A. (2011). La roya del cafeto en Colombia : Impacto manejo y costos del control. *Repositorio digital del Centro Nacional de Investigaciones de Café*, 36.

- Rodríguez, A., López, C., Soto, E., Cruz Vargas, M. de la, y García-A., D. (2023). Future spatial distribution of *Diaphorina citri* in Mexico under climate change models. *Ecological Complexity*, 53.
- Rodríguez, M. (s.f.). *Fusarium oxysporum f. sp. Cubense RT4*. El mayor enemigo de las musáceas parece haber llegado al continente americano. CropLife. <https://www.croplifela.org/es/?view=article&id=432&catid=69>
- Rubenstein, D., Heisey, P., Shoemaker, R., Sullivan, J., y Frisvold, G. (2005). *Crop genetic resources: an economic appraisal*. Economic Research Service/USDA.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S., Esker, P., Roberts, N. Mc, y Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3(3), 430-439.
- Salinari, F., Giosuè, S., Rossi, V., Tubiello, F., Rosenzweig, C., y Gullino, M. (2007). Downy mildew outbreaks on grapevine under climate change: Elaboration and application of an empirical-statistical model. *EPPO Bulletin*, 37, 317-326.
- Salinari, F., Giosuè, S., Rettori, A., Rossi, V., Tubiello, F., Spanna, F., Rosenzweig, C., y Gullino, M. (2006). Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. *Global Change Biology*, 12, 1299-1307.
- Sáenz, R., Rehfeldt, G., Crookston, N., Duval, P., Amant, R. St., Beaulieu, J., y Richardson, B. (2010). Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates of Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climate Change*, 102(3), 595-623.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria (2024). *Plagas de vigilancia activa y pasiva*. Senasica. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-de-vigilancia-activa-y-pasiva-111406>
- Stern, N. (2008). The Economics of Climate Change. *American Economic Review*, 98, (2), 1-37.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano G., y Wild, J. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7, 395-402.
- Seo, N., y Mendelsohn, R. (2008). Measuring Impacts and Adaptations to Climate Change: a Structural Ricardian Model of African Livestock Management. *Agricultural Economics*, 38(2), 151-165.
- Shaw, M., y Osborne, T. (2011). Distribución geográfica de patógenos de plantas en respuesta al cambio climático. *Plant Pathology*, 60, 31-43.
- Telenchana-Paucar, N. (2020). Modelo predictivo del impacto del cambio climático sobre la distribución y abundancia de una especie de Noctuidae asociada con el cultivo de maíz (*Zea mays*) [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato].
- Trebicki, P. (2020). Climate change and plant virus epidemiology. *Virus Research*, 286.
- Trebicki, P., Vandeger, R., Bosque-Pérez, N., Powell, K., Dader, B., Freeman, A., Yen, A., Fitzgerald, G., y Luck, J. (2016). Virus infection mediates the effects of elevated CO<sub>2</sub> on plants and vectors. *Scientific Reports*, 6.
- Tubiello, F., y Rosenzweig, C. (2008). Developing climate change impact metrics for agriculture. *Integrated Assessment*, 8(1):165-184.
- Tonnang, H., Mohamed, S., Khamis, F., y Ekesi, S. (2015). Identification and risk as-

- assessment for worldwide invasion and spread of *Tuta absoluta* with a focus on Sub-Saharan Africa: implications for phytosanitary measures and management. *PLoS One*, 10(8).
- Vaghefi, N., Nasir Shamsudin, M., Radam, A., y Rahim, K. (2013). Modelling the impact of climate change on rice production: An Overview. *Journal of Applied Sciences*, 13(24). <https://doi.org/10.3923/jas.2013.5649.5660>
- Varikou, K. (2014). *Bactrocera oleae* (olive fruit fly) [Datasheet]. CABI Compendium. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.17689>
- Wilches Ortiz, W. (2013). *Obtención de aislamientos de Phytophthora palmivora de palma de aceite en trampas de frutos* [Tesis de ingeniería, Universidad de Cundinamarca]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35214.23367>
- Yihdego, Y., Salem, H., y Muhammed, H. (2019). Agricultural pest management policies during drought: Case studies in Australia and the state of Palestine. *Natural Hazards Review*, 20.
- Zacarías, E., y Castillo, R. (2010). Comunidades vegetales templadas de la Sierra Juárez, Oaxaca: pisos altitudinales y sus posibles implicaciones ante el cambio climático. *Boletín de la sociedad Botánica de México*, 87, 13-28.