

## 2. Ámbitos de investigación en producción de frutales ante el cambio climático



PABLO ALBERTO TORRES LIMA\*  
JUAN GUILLERMO CRUZ-CASTILLO\*\*  
LUIS ÁNGEL BARRERA GUZMÁN\*\*\*  
MARÍA ELENA GALINDO TOVAR\*\*\*\*  
HUMBERTO MATA ALEJANDRO\*\*\*\*  
JOAQUÍN MURGUÍA GONZÁLEZ\*\*\*\*  
HÉCTOR TECUMSHÉ MOJICA ZARATE\*\*\*\*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.02>

### Resumen

En diferentes regiones del mundo, particularmente en el sur global, los estudios e investigaciones acerca de los sistemas de producción agrícola y frutícolas han abordado la vulnerabilidad y los riesgos del cambio climático como retos y oportunidades para desarrollar medidas de adaptación que protejan los recursos naturales y los servicios ecosistémicos sobre los cuales depende. Sin embargo, para la mayoría de las condiciones regionales, el nivel de conocimiento aún permanece limitado respecto de la exposición local a los riesgos de la variabilidad del clima, la distribución espacial

---

Este capítulo recupera notas conceptuales del autor principal, publicadas en Torres et al., 2009.

\* Doctor en Antropología. Profesor investigador, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5253-8580>

\*\* Doctor en Ciencias Hortícolas. Profesor, Universidad Autónoma Chapingo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8687-6235>

\*\*\* Doctor en Ciencias en Horticultura. Profesor, Universidad Autónoma Chapingo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8057-2583>

\*\*\*\* Doctora en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. Profesora, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5296-6996>

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

\*\*\*\* Doctor en Ciencias, especialista en Agroecosistemas Tropicales. Profesor, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5087-4943>

\*\*\*\* Doctor en Ciencias e Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Profesor, Universidad Autónoma Chapingo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9067-3983>

y geográfica de la vulnerabilidad, así como los factores productivos y socioeconómicos involucrados. En este capítulo, a manera de ensayo, se analiza cómo en los procesos agroambientales regionales existe la necesidad de convergencia entre la evaluación de riesgos climáticos locales, la vulnerabilidad de sistemas frutícolas, las capacidades de adaptación y mitigación, los criterios basados en los servicios ecosistémicos y el rol de las comunidades locales para estos procesos de adaptación; lo anterior bajo diferentes ámbitos de investigación del cambio climático.

**Palabras clave:** *producción de frutales, cambio climático y adaptación.*

## Introducción

En la literatura mundial sigue siendo relevante la publicación de diversos reportes que describen y desarrollan diferentes escenarios sobre los impactos del cambio climático en ecosistemas, grupos sociales e instituciones, al mismo tiempo que detallan la evaluación de las opciones actuales y futuras de procesos de contención, amortiguamiento, mitigación y adaptación. Uno de los ámbitos geográficos con mayor estudio de la afectación por el cambio climático son los sistemas agroproductivos o agrícolas, particularmente frutales (Sarkar et al., 2021). Estos incluyen diversos tipos de agricultura existentes dentro del marco de procesos agroambientales o ecosistémicos que dan lugar al manejo de recursos naturales, a la biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos para llevar a cabo la producción de alimentos y productos de origen vegetal a fin de proveer de ingresos y empleos, así como de cierto bienestar y calidad de vida, especialmente a poblaciones rurales.

Los efectos diferenciales de la variabilidad climática sobre la sociedad revelan diversos grados de vulnerabilidad regional en los sistemas agroproductivos considerando la compleja interacción entre los factores ambientales, sociales, económicos y políticos involucrados en cada región o área geográfica (Hillel y Rosenzweig, 2012). En este sentido y para la evaluación integral de la vulnerabilidad de los procesos agroambientales, que incluyen a los sistemas productivos agrícolas, se tiene que recurrir a diferentes esca-

las temporales y espaciales, así como a diversos niveles de comprensión teórica y metodológica, debido a que el propio concepto de vulnerabilidad refiere al conjunto de los sistemas de interacción humano-ambientales. De esta forma, la vulnerabilidad agroambiental a la variabilidad climática, al ser entendida como una función de la variación de factores y variables biofísicas y socioeconómicas en las actividades agrícolas —en este caso frutícolas— debe contener la posibilidad de definirse conceptualmente y registrarse bajo una tipología espacialmente determinada. El énfasis e importancia actual de la agricultura frente a este tipo de variabilidad se sustenta en que la primera se vincula a la cantidad y calidad de los recursos naturales y a las variaciones en la temperatura, precipitación, vientos y a la disponibilidad de agua para el crecimiento y reproducción de cultivos frutícolas.

Diversos estudios sugieren que no sólo la productividad, sino también la calidad de los frutos se verá perjudicada por la variabilidad del clima de cultivo de un año a otro; al mismo tiempo, la pérdida de diversidad vegetal y los problemas de idoneidad de la zona acarrearían más dificultades (Bhattacharjee et al., 2022). Por ejemplo, se reporta la posibilidad de que el cambio climático afecte al crecimiento y desarrollo de muchos cultivos frutales en los trópicos y subtropicos (Rajan et al., 2020; Choudhury et al., 2017), y en frutales de clima templado (Kuden, 2020; Sharma, 2021). Ante tales retos para la producción frutícola mundial es preciso llevar a cabo la evaluación científica y estratégica de tales efectos, así como las estrategias de adaptación y mitigación.

El sistema alimentario a escala mundial contribuye entre 21 y 37 % del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG, por sus siglas en inglés), incluyendo el cambio de uso de suelo (Van Hoof, 2023). Las emisiones de contaminantes por parte de la agricultura en países en desarrollo aumentaron 32 % entre los años de 1990 y 2005, y se espera que esta tendencia pueda continúe con el fin de satisfacer las demandas de productos alimentarios de una población en constante crecimiento; más aún si consideramos que, del potencial global total para mitigar las emisiones agrícolas de gases de efecto invernadero, 74 % radica en estos mismos países (Kok et al., 2010). Al mismo tiempo y de manera complementaria a los procesos de adaptación (por ejemplo, en términos del desarrollo de prác-

ticas agrícolas amigables con el medio ambiente), se debe considerar que los agroecosistemas tienen un potencial significativo de mitigación del cambio climático; en principio, mediante el secuestro de carbono a través del suelo, el cual correspondería a 89 % del total de su capacidad de mitigación (Bellarby et al., 2008).

En América Latina, el problema de la seguridad alimentaria no está directamente asociado a la disponibilidad de alimentos, dado que la región produce alimentos suficientes para abastecer a su población y aún más para exportar al mercado mundial de alimentos gracias a su amplia base de recursos naturales (tierra, bosques, agua y biodiversidad), humanos y de conocimiento. Sin embargo, existe un impedimento importante en cada país latinoamericano para adecuar el vínculo agricultura-alimentación a las tendencias cambiantes de los sistemas agroalimentarios regionales para contribuir con resultados reales a lo largo de los procesos nacionales de producción de alimentos (Torres-Lima et al., 2022). Lo anterior se refiere a que la región de América Latina y el Caribe (ALC) abarca zonas con una pronunciada variabilidad climática interanual, y que esta variabilidad, y los cambios climáticos previstos a largo plazo, están ejerciendo una presión significativa sobre la producción agrícola (Baethgen y Goddard, 2012). En particular, se estima que la fluctuación interanual de esta variabilidad climática afecta hasta en un 80 % la respuesta de los cultivos frutícolas en términos de calidad y cantidad de producción (Rodríguez, 2022).

Cabe señalar que la tendencia al calentamiento continuó en 2021 en América Latina y el Caribe. La tasa media de aumento de las temperaturas fue de aproximadamente 0.2°C por decenio entre 1991 y 2021, frente a 0.1°C por decenio entre 1961 y 1990 (World Meteorological Organization[wmo], 2021). Así mismo, el nivel del mar en la región siguió subiendo durante el año 2021 a un ritmo aún más rápido que en el resto del mundo; sobre todo en la costa atlántica de América del Sur, al sur del ecuador y en las zonas subtropicales del Atlántico Norte y el Golfo de México. Sin duda, el fenómeno cíclico denominado El Niño-Oscilación del Sur es la variabilidad climática en América Latina con mayor impacto socioeconómico para la

agricultura, más aún si se considera que esta actividad representa alrededor de 10 % del producto interno bruto de la región (Magrin et al., 2007).

En México se estima que el promedio anual de temperatura proyectada para 2060 se incrementará de 1.1 a 3°C y los alcances de los valores medios de precipitación variarán de -3 a 15 %, conforme al modelo general de circulación (GCM, por sus siglas en inglés) (McSweeney et al., 2008). En el periodo de 2015 a 2039 se proyecta, en general, una disminución en la precipitación de entre 10 y 20 % (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático / Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [INECC / Semarnat], 2018). Así mismo, durante las dos últimas décadas, alrededor de 80 % de las pérdidas totales económicas debidas a desastres relacionados con el clima ocurrieron en el sector agrícola (McSweeney et al., 2008).

Se estima que algunos de los efectos directos del cambio climático en la agricultura de México podrían presentarse de manera diferenciada en algunas regiones (Ramírez et al., 2022), de acuerdo con sus condiciones particulares: (a) cambios en el desarrollo y productividad de los cultivos por afectaciones en los ciclos fenológicos; (b) incremento en el periodo libre de heladas de las zonas agrícolas, lo que se traduciría en un mayor periodo útil para el desarrollo de algunos cultivos y un aumento en el número de ciclos agrícolas por año; (c) reducción en la superficie cultivable y en los rendimientos generados en zonas de temporal debido al aumento en la duración e intensidad de la sequía; (d) afectaciones en los distritos de riego del noroeste del país en cuanto a disponibilidad de agua; y (e) reducción en la precipitación y aumento en la temperatura, lo que limitará la producción en el ciclo primavera-verano en los distritos de riego localizados en las zonas áridas y semiáridas de México (McSweeney et al., 2008; INECC / Semarnat, 2018).

Debido a la variada topografía en México, que impone diferencias y variabilidad climática entre las diversas regiones del país a la alta heterogeneidad en términos de ecosistemas, distribución de la población y cultural, se estima que existirá un decremento en la superficie arable y en los rendimientos de las cosechas de cultivos debido al cambio climático, lo cual implica retos para aliviar la pobreza y asegurar la alimentación y bienestar de las poblaciones locales y las regionales. Por ejemplo, los cambios en los rendimientos variarán en una disminución aproximada de 30 % para Mé-

xico (Lobelland y Ortiz-Monasterio, 2010); se estima que una reducción de 10 % en la productividad de los cultivos promoverá 2 % adicional de la población que emigra a los Estados Unidos. Lo anterior significa que, como resultado de la declinación en la producción agrícola, para el año 2080 el cambio climático inducirá por sí solo la migración de entre 1 400 000 a 6 700 000 de mexicanos, lo que representa de 2 a 10 % de la actual población en el rango de 15 a 65 años de edad (Feng et al., 2010). Por su parte, es relevante ampliar el número de estudios e investigaciones que evalúen, mediante modelos, los escenarios de cambios y transiciones climáticos potenciales sobre los procesos agroambientales y el rendimiento de cultivos en localidades y marcos regionales específicos (Castillo-Martínez et al., 2022). Se requiere profundizar en la contextualización de los procesos agroambientales regionales frente al cambio climático y hacer énfasis en la importancia de los sistemas productivos agrícolas con ejemplos de la fruticultura en los procesos de adaptación y mitigación, cuestiones a las que se orienta este capítulo. Esto se da bajo la consideración de los enfoques de servicios ecosistémicos y con base en la comunidad.

## **Procesos agroambientales regionales frente al cambio climático**

En la actualidad, el cambio climático es inevitable debido a las emisiones históricas que han contribuido al efecto invernadero en el sistema energético mundial. Sin embargo, también se debe considerar que la vulnerabilidad a los impactos relacionados con este tipo de cambio en algunas sociedades no es necesariamente causada por las emisiones, sino por los patrones de desarrollo regional no sustentables combinados con una inequidad socioeconómica (Pielke et al., 2007).

En este sentido, los impactos de los cambios bioclimáticos presentan dos tipos de retos para las naciones en desarrollo: (a) se refiere a la naturaleza y duración que este tipo de eventos climatológicos ejercerá con mayor presión sobre los territorios y las poblaciones, ya de por sí vulnerables (esto es, falta de acceso a agua potable, hambrunas y pobreza); y (b) se define a las políticas sobre el desarrollo y crecimiento económico que tendrán que

incluir en su agenda la vulnerabilidad específica regional asociada a la sensibilidad de espacios y poblaciones particulares a tales impactos; en este caso, de sistemas agroproductivos frutícolas. Sin embargo, debido la existente incertidumbre para predecir las variables bioclimáticas (esto es, los valores de temperatura y precipitación asociados a condiciones extremas ambientales o ecológicas), así como la distribución e impacto de los cambios en las condiciones biofísicas promedio regionales, es preciso que la investigación se fortalezca para orientar acerca de los vínculos entre los impactos del cambio climático, los servicios ecosistémicos, la vulnerabilidad socioterritorial, las condiciones de producción agroproductivas y las estrategias de mejoramiento del bienestar humano y de adaptación y mitigación tanto local como regional.

Así, se refiere, por ejemplo, que el cambio climático tiene un gran impacto en los cultivos frutales perennes, amenazando así la disponibilidad de alimentos. De hecho, los factores climáticos afectan varios aspectos de las plantas, como los estados fenológicos, los procesos fisiológicos, la frecuencia de enfermedades y plagas, el rendimiento y la composición cualitativa de los tejidos vegetales y los productos derivados. De tal forma, a fin de mitigar los efectos de la variabilidad de los parámetros climáticos, las plantas implementan varias estrategias de defensa cambiando las tendencias fenológicas, alterando su fisiología o aumentando la captura de carbono y la síntesis de metabolitos (Medda et al., 2022). Como parte de este enfoque integral para comprender el impacto del cambio climático es también preciso facilitar el desempeño de los procesos económicos, en este caso, agroproductivos frutícolas a partir de la competitividad que suponen diferentes procesos de generación de capacidades, que, a su vez, dependen no sólo de factores macroeconómicos, sino también de las condiciones ambientales que ofrece el propio territorio.

En el desarrollo de la competitividad de territorios para el logro de la sustentabilidad deseada, como parte del contexto de economías agroambientalmente sanas, se debe investigar de manera interdisciplinaria lo siguiente: la adopción de prácticas eficientes de uso de energía; la reducción regional de tasas de emisión de carbono; el mejoramiento en el uso de suelo, ampliando las posibilidades de incrementar la captura de carbono; la necesidad de proteger los servicios ecosistémicos; y la promoción en la efi-

ciencia del uso de los recursos naturales. Así, se ha reconocido la planeación del territorio y el ordenamiento ecológico como medios de adaptación, mitigación y reducción de los riesgos impuestos por el cambio climático en los modos de vida de la gente, los recursos naturales, los servicios ambientales y las actividades productivas y económicas; todo ello a través de la reducción de la vulnerabilidad con una adecuada conservación de los ecosistemas y una buena gestión de las cuencas hidrográficas (Sukhdev et al., 2014). Dentro de este contexto, tanto los espacios rurales como los urbanos y, por supuesto, las tareas de diseño ambiental de sistemas territoriales enfrentan retos ante los cambios bioclimáticos por sus fuertes implicaciones para la seguridad alimentaria y el bienestar del ser humano y sus sociedades regionales.

Las evaluaciones regionales ilustran que la vulnerabilidad y los costos económicos a los impactos adversos de la variación y cambios climáticos tiene múltiples causas. El estado y la dinámica de estos procesos son distintos en cada territorio y generan condiciones de vulnerabilidad que difieren en carácter y grado entre las regiones y dentro de la economía y las sociedades (Estrada et al., 2022). Así, por ejemplo, en virtud de la alta complejidad de los sistemas agroproductivos frutícolas y de sus implicaciones para la evaluación regional de las características de vulnerabilidad de las poblaciones, lugares y actividades agrícolas, el examen de esta vulnerabilidad implica considerarla como: (a) la sensibilidad y la exposición de un sistema a presiones, estreses o disturbios, ya sea internos o externos; (b) el estado del sistema respecto de cierto umbral de daño; y (c) la habilidad del sistema para adaptarse a las condiciones cambiantes (Luers, 2005).

Sería ideal encuadrar este examen bajo el marco de una evaluación del riesgo climático, que tendría que considerar la ampliación del uso de ciencia y tecnología existentes para permitir un mejor uso de los datos geoespaciales y el tratamiento de las incertidumbres, entre otros rasgos (Arribas et al., 2022). En este sentido, la vulnerabilidad de los sistemas agroproductivos frutícolas requiere identificar el umbral o punto de referencia por arriba o por debajo del cual dicho sistema es dañado, tal como el nivel de degradación de un ecosistema o el promedio del nivel de ingreso relativo a la línea de pobreza.

La vulnerabilidad es una cualidad dinámica que puede ser alterada gradual o repentinamente por cambios en las condiciones sociales o biofísicas. De esta forma, la evaluación de la actual vulnerabilidad de un sistema agroproductivo frutícola puede incluir la evaluación de lo siguiente: las condiciones socioeconómicas; el riesgo climático actual; las percepciones locales acerca del riesgo climático y sus impactos; el perfil de los modos de vida en lugares específicos; y los marcos institucionales.

En la medida en que la adaptación a estas condiciones cambiantes (esto es, infraestructura o equipamiento rural, disponibilidad de agua, contaminación atmosférica, grado de sequía, inundaciones, susceptibilidad a heladas, entre otros) pueda modificar la vulnerabilidad del propio sistema agrícola, la propia capacidad adaptativa se definirá como el potencial para adaptarse o reducir la vulnerabilidad del sistema. Por lo tanto, la propia capacidad adaptativa es el conjunto de acciones y estrategias de contención, mitigación, adaptativas y de amortiguamiento que contribuyen a la vulnerabilidad mínima potencial. Por ejemplo, se reporta que el potencial inherente de los frutales, aparte de los desafíos medioambientales, consiste en mantener una cadena de producción viable que implique diversas estrategias de gestión de las plantas, incluyendo las actividades de fitomejoramiento que explotan las propias variaciones.

De esta forma, la explotación de las variaciones naturales espontáneas e inducidas disponibles y la selección basada en protocolos de fenotipado sencillos proporcionan especies de cultivos anuales de corta duración, como las variedades de frutales sensibles al clima (Sarkar et al., 2021). Por lo tanto, se estima que, en virtud de que el estrés biótico y abiótico son cada vez más frecuentes, las intervenciones que utilizan información biotecnológica recientemente desarrollada, como los datos genómicos, pueden ser de gran ayuda para el crecimiento de cultivos frutales climáticamente inteligentes (Sarkar et al., 2021).

## **Adaptación y mitigación ante el cambio climático**

A escala mundial, se estima que el impacto potencial del cambio climático podrá reducir los rendimientos de maíz en África y América Latina, y que

para el año 2050 la reducción sería de 10 %, lo cual equivale a 2 billones de dólares por año (Jones y Thornton, 2003). En virtud de que este último dato agregado no refleja la amplia variabilidad regional y la variabilidad de los sistemas de cultivo involucrados, es preciso evaluar el tipo de impacto ambiental por sitio específico y por sistema de producción (Liu et al., 2004). Así pues, resulta necesario desarrollar herramientas metodológicas para probar la respuesta de los sistemas agropecuarios frutícolas (a escala de sitios específicos) a factores ambientales (esto es, aumento en la temperatura y cambio en los regímenes hidrológicos) y al manejo de insumos (esto es, fertilización nitrogenada y biofertilización) como parte de la elaboración de modelos funcionales de cambio a nivel regional.

De igual forma, se ha identificado la indispensable necesidad de estudiar las medidas de adaptación locales y regionales que tienen potencial para reducir las pérdidas relacionadas con el clima en la agricultura; por ejemplo, el manejo del riesgo en la producción agrícola desde un punto de vista socioeconómico, el cual representa una prioridad en la investigación sobre la capacidad adaptativa de los sistemas humanos y productivos que promueven la integración del cambio climático con las políticas de desarrollo (Magrin et al., 2007). De igual forma, se refiere que es necesario incluir en la agenda de investigación los efectos de estas variaciones en función de las medidas agronómicas aplicadas por los productores intrarregionalmente para contener con dichos cambios, tanto en el manejo de los recursos del suelo y agua, como en el manejo de los cultivos e insumos (Thomas et al., 2007).

Así, las prácticas productivas (económicas, tecnológicas y sociales) deberán ser evaluadas como medidas de contención, mitigación y adaptación ante los riesgos y variaciones climáticas, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad, ampliar la resiliencia de la agricultura y, consecuentemente, incrementar los rendimientos (Haim et al., 2008). Por último, es claro que tanto las elecciones que hace el productor respecto al tipo de agricultura a seguir (esto es, las estrategias tecnológicas que desarrolla), así como las decisiones económicas y de manejo de los recursos naturales que ejecuta revelan que todas ellas son dependientes del clima y del medio ambiente (Seo et al., 2008).

En particular, en el marco del proyecto Mitigation of Climate Change in Agriculture (MICCA), el cual inició a principios de 2010, la Organización

para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO, por sus siglas en inglés) ha apoyado los esfuerzos para mitigar, en la agricultura, el cambio climático en países en desarrollo; así, a medida que se orientan las prácticas agrícolas hacia un enfoque de reducción de emisión de GHG y de captura de carbono en la biomasa y los suelos, al mismo tiempo se crea resiliencia y se genera un aumento en la productividad de los sistemas agrícolas. Las principales premisas de este proyecto consisten en promover la idea de que la adaptación y mitigación deben ser consideradas desde la perspectiva de la toma de decisiones de los propios agricultores, en tanto que se les permita obtener un beneficio complementario al tocante incremento de la productividad agrícola en compatibilidad con la elección de la tecnología apropiada para las condiciones del clima y las circunstancias locales (esto es, en la producción de cultivos o el uso de fertilizantes inorgánicos que puede ser optimizado con el uso de fertilizantes orgánicos, con el objeto de reducir los contaminantes y aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo por cada zona agroecológica).

Las opciones que se buscan en la mitigación mediante la agricultura necesitan beneficiar la adaptación al cambio climático, la seguridad alimentaria y el desarrollo rural, en lo que respecta a la promoción de la sustentabilidad a largo plazo. De los proyectos evaluados hasta el año 2010 por la FAO (2014), 74 % se dirigieron a la incorporación de prácticas agrícolas, tales como agricultura de conservación, producción de composta, agricultura orgánica, agroforestería, manejo de recursos naturales, reforestación, conservación de bosques y bioenergía.

Los principales beneficios incluyeron el pago por servicios ambientales, conservación de cuencas y biodiversidad e incremento en la productividad. Otros beneficios correspondieron a actividades de educación ambiental, conciencia del valor de los servicios ecosistémicos, percepción de financiamiento y de bonos de carbono, para mejorar el clima, así como la planeación y manejo de sistemas de crédito de carbono por los gobiernos centrales (Seeberg-Elverfeldt y Tapio-Biström, 2010).

Respecto a la agricultura y sus cobeneficios ecológicos para el desarrollo sustentable, esta ha sido incorporada como parte del debate y discurso de políticas climáticas a nivel internacional. La FAO ha alertado a los países que negocian en la United Nations Framework Convention on Climate

Change (UNFCCC) que se puede perder una oportunidad crucial si no se vincula el gran potencial de la agricultura, valorada como un servicio ecosistémico terrestre, en la mitigación del cambio climático con el incremento de la producción de alimentos, la seguridad alimentaria, la resiliencia y los procesos de adaptación. Estos aspectos de política e investigación han sido considerados bajo el contexto del Grupo Consultor para la Investigación sobre Agricultura Internacional (CGIAR, por sus siglas en inglés).

En suma, se refiere que los principios del potencial que tiene la agricultura para la mitigación y adaptación se relacionan con lo siguiente: (a) incluye cierto rango de reducción de emisiones terrestres, almacenaje y opciones de captura como parte de las políticas e inversiones institucionales para el cambio climático; (b) forma parte de los instrumentos de políticas e inversión basados en el mercado que regulan, promueven y controlan mediante incentivos económicos la reducción de emisión de contaminantes (*Cap-and-trade systems* o *Emissions trading*); (c) vincula la mitigación terrestre con la adaptación, desarrollo rural y estrategias de conservación; (d) promueve los programas basadas en amplias superficies que son integrados a través de varios sectores económicos y paisajísticos, por ejemplo la planeación de cuencas que aseguren el manejo de ecosistemas vinculados al territorio, las poblaciones y las estrategias de desarrollo; (e) promueve mercados voluntarios que compensan la emisión de GHG; (f) moviliza, a nivel mundial, un movimiento interconectado para el apoyo y consumo de la producción agrícola y sus productos amigables con el ambiente y el clima (Scherr y Sthapit, 2009).

## **La agricultura y la adaptación basada en los servicios ecosistémicos**

La agricultura es una actividad que provee a las poblaciones humanas de alimentos, materias primas para su vestido, medicinas y otros productos para su bienestar, así como de servicios ecosistémicos vitales como la biodiversidad, la formación de suelo, la regulación de los ciclos hídricos, el secuestro de carbono, entre otros. A medida que la población mundial se aproxima a la cifra de 9 billones 100 000 millones de personas para el año

2050, se espera que la producción agrícola aumente conforme crezca la demanda de alimentos, para lo cual el cambio climático representa un reto importante, debido a que 75% de las poblaciones que viven en áreas rurales al rededor del mundo dependen de la agricultura, la forestería y del sector de la pesca (FAO, 2021). La agricultura enfrenta muchas restricciones a escala mundial para el logro de una productividad óptima respecto al acceso de recursos productivos, mercados y servicios, lo que en su conjunto limita sus contribuciones a las amplias metas del desarrollo económico y social, regional y local para todos los casos.

Se considera que las variaciones en la demanda de agua (cantidad y confiabilidad en su abasto), producidas por los efectos del cambio climático sobre la agricultura, en tanto que esta es la actividad humana que más necesita de dicho recurso en el mundo, amenazarán no sólo el bienestar de millones de agricultores y campesinos con escasos medios, sino que también afectará el abasto de alimentos para los consumidores locales (Rosenzweig et al., 2004; Torres-Lima et al., 2022). De esta manera, los efectos del cambio climático en la agricultura causan una gran influencia en su propio desempeño ambiental, productivo y económico. Como ejemplo de lo señalado anteriormente, la producción agrícola y frutícola es sensible a dos amplias clases de efectos inducidos por el clima: (a) los efectos directos producidos por cambios en la temperatura, precipitación y concentraciones de dióxido de carbono, y (b) los efectos indirectos que ocurren mediante los cambios de humedad del suelo y la distribución y frecuencia del ataque de plagas y enfermedades (Fedoroff, 2010).

Estos cambios, dependiendo del tipo de impacto por sitio específico y por sistema de producción frutícola, pueden afectar la respuesta fisiológica de las especies vegetales, lo que conduce a su rendimiento biológico y productivo en la sincronización para la adquisición de recursos en sus diferentes fases fenológicas y eventos reproductivos entre especies respecto de variaciones en los regímenes de precipitación, temperatura y en la concentración de CO<sub>2</sub>. Bajo estas consideraciones, se estima que las adaptaciones de la agricultura al cambio climático pueden implicar medidas agronómicas (fecha de plantación temprana, reducción de la evaporación del suelo, ampliación del riego), mejora genética (cultivares con mayor necesidad de

grados-día de crecimiento) y combinaciones de adaptaciones individuales (Wu et al., 2023).

En virtud de que el cambio climático tiene un efecto importante en los factores que rigen la absorción y acumulación de carbono en los ecosistemas y, por tanto, desempeña un papel fundamental en la capacidad de estos para secuestrar carbono en el futuro, queda claro que es necesario mantener grandes extensiones de tierra para uso agrícola, en las cuales existe un considerable potencial para mitigar las emisiones de carbono estimado en alrededor de 0.6 GtCO<sub>2</sub>-eq al año para 2030 a escala mundial (Trumper et al., 2009). Las emisiones antropogénicas netas mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) se han estimado en 59 ± 6.6 GtCO<sub>2</sub>-eq para el año 2019, aproximadamente un 12% (6.5 GtCO<sub>2</sub>-eq) más que en el año 2010 y 54% (21 GtCO<sub>2</sub>-eq) más que en 1990, siendo la mayor parte y crecimiento de las emisiones brutas de GEI correspondientes al CO<sub>2</sub>, el cual procede de la combustión de combustibles fósiles y procesos industriales (CO<sub>2</sub>-FFI, por sus siglas en inglés), seguido del metano (Instituto Panamericano de Profesionales Científicos [IPPC], 2023). Si en el sector agrícola se adoptaran ampliamente prácticas de gestión óptimas de carbono, se calcula que se podrían secuestrar por año de 5.5 a 6 GtCO<sub>2</sub>-eq para 2030, cantidad comparable con las emisiones de ese sector. Alrededor de 90% de este potencial podría lograrse mediante la mejora de los sumideros de carbono y cerca de 10% a través de la reducción de emisiones. Aunque la mayor parte (70%) puede llevarse a cabo en los países en desarrollo, se debe considerar que la principal posibilidad de mitigación radica en la gestión de las tierras de cultivo y de pastoreo, y en la rehabilitación de suelos orgánicos cultivados y tierras degradadas (Trumper et al., 2009).

Para lograr lo anterior es preciso reconocer que en las áreas con altos niveles de producción agrícola corresponde una baja diversidad de servicios ecosistémicos o una baja multifuncionalidad de sistemas socio-ecológicos. Así, las áreas o paisajes geográficos con alto valor para regular diversos servicios ambientales frente al cambio climático (regulación: ciclo de nutrientes; provisión: alimentos; y culturales: turismo) tienen mayores opciones para el futuro, incluyendo una agricultura diversificada y plurifuncional (Raudsepp-Hearne et al., 2010). Esto implica el desarrollo de sistemas socio-ecológicos que produzcan servicios ambientales plurales a través de la restauración

y conservación de los propios ecosistemas en correspondencia con la intencionalidad explícita declarada en políticas de manejo y promoción social con enfoques de contención de la vulnerabilidad y aumento de la resiliencia de la propia agricultura a través del tiempo y el espacio.

En virtud de que los agroecosistemas se encuentran en riesgo por las prácticas que intensifican la producción más allá de los límites ecológicos (esto es, degradación de suelos), se podría esperar que mediante la restauración de las funciones ecológicas de los sistemas agrícolas los productores rurales puedan contribuir a la reducción de las emisiones de GHG. Por ello es indispensable reconocer que el enfoque de la adaptación basada en los ecosistemas (*Ecosystem-based adaptation*), que consiste en el uso de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos, puede formar parte de una estrategia general de adaptación que ayudará a las poblaciones a contender con los efectos adversos del cambio climático (Nalau, 2018).

De esta forma, se debe reconocer que la inversión para fortalecer o mantener este tipo de servicios mediante la conservación, restauración y el uso sustentable de los recursos naturales puede apoyar la capacidad de amortiguamiento climático y la resiliencia de los propios agroecosistemas, lo cual es consistente con la mitigación de las emisiones y refuerza la adaptación basada en los ecosistemas; ambos, elementos potenciales para el diseño de políticas internacionales sobre cambio climático.

Sin embargo, el enfoque de adaptación basado en ecosistemas no ha sido reconocido por completo en las políticas de desarrollo respecto a la seguridad alimentaria, al financiamiento y a la creación de incentivos para la consolidación de la agricultura sustentable. Muchas consideraciones prácticas han impedido la aplicación y éxito de políticas de cambio climático, principalmente en países en desarrollo. Una es la relativa falta de atención técnica otorgada a los sistemas agrícolas y, en especial, frutícolas en términos de las emisiones de GHG; otra consiste en la falta de apoyo político para definir una agenda de adaptación y mitigación. Mediante el enfoque en servicios ecosistémicos y la consideración de los beneficios colaterales, ambos aspectos podrían alinearse con los esfuerzos y objetivos internacionales que actualmente toman curso al respecto. Así, se reconoce que el enfoque de adaptación basado en ecosistemas debe ser un componente fundamental

de la conciencia social, el pensamiento político y de los procesos económicos (Munang et al., 2011).

## **La adaptación basada en la comunidad**

La FAO (2021) reporta que incluso antes de la pandemia de COVID-19, el mundo no estaba en vías de cumplir el compromiso compartido de acabar con el hambre y la malnutrición mundial en todas sus formas para el 2030. El estado mundial de la seguridad alimentaria y la nutrición del año 2021 estima que entre 720 y 811 millones de personas se vieron afectadas por el hambre durante el 2020, hasta 161 millones más que en el 2019, con el aumento impulsado en gran medida por la crisis del COVID-19 (FAO, 2021). Trágicamente, las mujeres y los niños a menudo se han llevado la peor parte de la crisis.

Los sistemas agroalimentarios engloban la producción agrícola primaria de alimentos y productos no alimentarios (de cultivos, ganado, pesca, silvicultura y acuicultura), la producción de alimentos de origen no agrícola (por ejemplo, carne sintética), y la cadena de suministro de alimentos del productor al consumidor y el consumidor final de alimentos. A nivel mundial, estos sistemas producen unos 11 000 millones de toneladas de alimentos al año y constituyen la columna vertebral de muchas economías (FAO, 2021). Se reporta que en un mundo ideal los sistemas agroalimentarios serían resilientes, inclusivos y sustentables, producirían alimentos suficientes, seguros y nutritivos para todos, generando medios de vida que garanticen el acceso económico de las personas a esos alimentos. Hoy en día, sin embargo, los sistemas agroalimentarios no logran mantener alejados del hambre a 10 % de la población mundial (FAO, 2021).

De cualquier manera, la agricultura no sólo es afectada por el cambio climático, sino que por sí misma es uno de los principales emisores de contaminantes; por lo tanto, el cambio climático tiene profundas implicaciones en que la agricultura cumpla con las demandas de alimentos y productos de origen vegetal al tiempo que reduce el impacto ambiental de su producción (Fedoroff, 2010).

Respecto a los tipos de adaptación, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) distin-

que diferentes categorías; particularmente, la *adaptación anticipatoria* es aquella que toma lugar antes de que los impactos del cambio climático sean observados. Así mismo, la *adaptación autónoma* se refiere a aquella que no constituye una respuesta consciente a los estímulos del clima, sino que es contenida por los cambios en los sistemas naturales y mediante cambios en el mercado o en el bienestar en los sistemas humanos.

Finalmente, la *adaptación planeada* es resultado de una decisión política deliberada, basada en la preocupación por las condiciones que han cambiado o que están por hacerlo en la medida en que un tipo de acción es requerida para regresar, mantener o alcanzar un estado deseado de las cosas. En su último reporte, el IPCC (2023) refiere que la eficacia de la adaptación para reducir los riesgos climáticos está documentada en contextos, sectores y regiones específicos, y que algunos ejemplos de opciones de adaptación eficaces son: la mejora de los cultivos, la gestión y el almacenamiento del agua en las explotaciones, la conservación de la humedad del suelo, el riego, la agrosilvicultura, la adaptación basada en la comunidad, la diversificación de la agricultura a nivel de explotación y de paisaje, los enfoques de gestión sostenible de la tierra, el uso de principios y prácticas agroecológicos, y otros enfoques que trabajan con procesos naturales.

En particular, las comunidades y sociedades rurales han venido ajustándose al cambio de clima de manera discreta y reactiva. La idea de que la adaptación debe ser planeada, proactiva y anticipatoria es una innovación e importante componente de la adaptación basada en la comunidad (CBA, por sus siglas en inglés: *community-based adaptation*). A partir del impacto diferenciado que el cambio climático genera en las diversas comunidades, según sus respectivas vulnerabilidades y capacidades adaptativas, la adaptación debe ser específica y apropiada al contexto local; sobre todo, si los proyectos de CBA se dirigen hacia el fortalecimiento de la propia resiliencia de las comunidades y de sus ecosistemas (esto es, sistemas agrícolas frutícolas) frente a los efectos de la variabilidad del clima.

La CBA emerge bajo la consideración de que la gente pobre es la más vulnerable al cambio climático debido a que (a) sus modos de vida dependen directamente de aquellos recursos naturales que tienen la tendencia a sufrir estrés climáticos (esto es, la agricultura de temporal); (b) viven en lugares remotos con dificultad de acceso a servicios y apoyos; y (c) son marginados

por estructuras sociales y políticas, lo que en su conjunto afecta su capacidad adaptativa a los riesgos futuros de cambio (United Nations Development Programme [UNDP], 2015).

La CBA es un enfoque integral que, mediante la provisión de pequeños financiamientos para proyectos liderados por comunidades, tiene como finalidad el apoyar la adaptación de los propios actores locales, incluso desde la perspectiva de género; combinar conocimiento local con científico; responder a las necesidades de adaptación tangibles; promover la innovación dirigida por las comunidades; proveer de recursos materiales e información para el desarrollo de capacidades adaptativas; permitir la experimentación; facilitar la identificación y compartir las mejores prácticas; incrementar la resiliencia al asegurarse de que los actores locales se concienticen de por qué cambian las condiciones locales y a qué deben adaptarse; además de permitir la contribución a los procesos de adaptación en el diseño de políticas regionales, nacionales e internacionales (The 17th International Conference on Community-Based Adaptation to Climate Change [CBA17], 2023).

## Conclusiones

Es fundamental considerar que los procesos agroambientales tienen ante sí el reto de proveer de alimentos a una población mundial de aproximadamente 9 billones para el año 2050, la cual ejerce una incesante presión sobre los recursos naturales, al tiempo que los impactos del cambio climático multiplican el riesgo de la misma producción agrícola.

De tal forma, los productores y las comunidades rurales son actores clave no sólo para el desarrollo económico y la seguridad alimentaria, sino también para el manejo y conservación del medio ambiente y los ecosistemas. Para ello, las prácticas de producción basadas en los recursos y servicios ecosistémicos, tales como el manejo integrado de plagas, sistemas de producción para la conservación y labranza mínima, la cosecha de agua y el uso de materiales y desperdicios orgánicos en las parcelas agrícolas, entre otros, son enfoques que coadyuvan a mejorar el modo de vida y la resiliencia.

cia de los habitantes rurales, sus territorios y sus sistemas agroproductivos, en especial los frutícolas.

Es preciso dejar claro que los principales objetivos que se persiguen con los procesos de adaptación basados en los ecosistemas y las comunidades se enfocan en la reducción de la pobreza y el desarrollo sustentable, al tiempo que se fortalezca los beneficios medioambientales, la resiliencia climática y las vías de crecimiento de baja producción de carbono. El marco internacional de políticas responsable por abordar el cambio climático debe reconocer la vulnerabilidad de los procesos agroambientales. Hasta el momento, la mayoría de las respuestas e iniciativas se enfocan en un nivel nacional, en vez de que remitan las necesidades a nivel regional y local en comunidades y ecosistemas vulnerables, tales como la agricultura, sus sistemas agroproductivos y sus productores, los cuales son directamente afectados por el cambio climático.

Conforme a lo anterior, es imprescindible que las agendas de políticas de adaptación incluyan los siguientes lineamientos: (a) se deben considerar las opciones de la adaptación basada en los ecosistemas como un componente integral de la reducción de los riesgos y de las estrategias de adaptación al cambio climático, principalmente, como parte de procesos de planeación del desarrollo local, regional y nacional; (b) los proyectos relacionados al cambio climático deben tomar en cuenta las condiciones ambientales locales y los ecosistemas involucrados, así como identificar las oportunidades para maximizar los servicios ecosistémicos para la adaptación a la variabilidad del clima y en la reducción de los riesgos, lo cual también implica la conservación de la biodiversidad; (c) las comunidades y los sectores de participación locales, sin perder sus derechos de acceso a sus diversos tipos de recursos, deberán involucrarse a través de todos los procesos de adaptación para asegurar el buen diseño de proyectos que se dirijan hacia el desarrollo sustentable; (d) el conjunto de los servicios ecosistémicos deberán ser reconocidos cuando se lleven a cabo evaluaciones de costo-efectividad de las diferentes opciones de adaptación; (e) la resiliencia de los sistemas sociales y ecológicos a los riesgos naturales promovidos por el ser humano y a los propios impactos del cambio climático deberá ser facilitada mediante el mejoramiento del manejo de los ecosistemas y el uso sustentable de los recursos; y (f) la adaptación basada en los

ecosistemas no es la única solución, sino que representa un enfoque de costo-efectividad de largo plazo que puede ser usada en conjunto con otras medidas de adaptación y mitigación al cambio climático y al manejo de desastres, con la finalidad de reducir la vulnerabilidad de los procesos agroambientales y de las poblaciones rurales, de sus territorios y de sus sistemas agroproductivos, en especial los frutícolas.

## Referencias

- Arribas, A., Fairgrieve, R., Dhu, T., Bell, J., Cornforth, R., Gooley, G., Hilson, C., Luers, A., Shepherd, T., Street, R., y Wood, N. (2022). Climate risk assessment needs urgent improvement. *Nature Communications*, 13. <http://doi.org/10.1038/s41467-022-31979-w>
- Baethgen, W. y Goodard, L. (2012). Latin American Perspectives on Adaptation of Agricultural Systems to Climate Variability and Change. En D. Hillel y C. Rosenzweig (Eds.), *Handbook of climate change and agroecosystems: Global and Regional Aspects and Implications*. Imperial College Press. [http://doi.org/10.1142/9781848169845\\_0004](http://doi.org/10.1142/9781848169845_0004)
- Bellarby, J., Foereid, B., Hastings, A. y Smith, P. (2008). *Cool farming: Climate impacts of agriculture and mitigation potential*. Greenpeace.
- Bhattacharjee, P. Warang, O., Das, S. y Das, S. (2022). Impact of climate change on fruit crops- A review. *Current World Environment*, 17(2), 319-330. <http://dx.doi.org/10.12944/CWE.17.2.4>
- Castillo-Martínez, S., Díaz-José, J., Leyva-Ovalle, O., Ramírez-Rivera, E., Díaz-José, O., Murguía-González, J., Grass, J., y Cruz-Castillo, J. (2022). Urgently needed transition pathways toward sustainability in agriculture: the case of Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) production in Veracruz, Mexico. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 211-2130. <http://doi.org/10.1007/s10668-022-02806-5>
- Choudhury, A., Sen, J., Bhutia S. y Roy, P. (2017). Tropical and sub-tropical fruit crops in the arena of climate change. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(5), 574-575.
- Estrada, F., Mendoza-Ponce, A., Calderón-Bustamante, O., y Botzen, Wouter (2022). Impacts and economic costs of climate change on Mexican agriculture. *Regional Environmental Change*, 22. <http://doi.org/10.1007/s10113-022-01986-0>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2014). *AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture*. FAO. [www.fao.org/aquastat/en/countries-and-basins/country-profiles/country/MEX](http://www.fao.org/aquastat/en/countries-and-basins/country-profiles/country/MEX)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021). *The State of Food and Agriculture 2021. Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*. FAO. <http://doi.org/10.4060/cb4476en>

- Fedoroff, N., Battisti, D., Beachy, R., Cooper, P. M. J., Fischhoff, D. A., Hodges, C. N., Knauf, V. C., Lobell, D., Mazur, B. J., Molden, D., Reynolds, M. P., Ronald, P. C., Rosegrant, M. W., Sanchez, P. A., Vonshak, A. y Zhu, J.-K. (2010). Radically rethinking agriculture for the 21st century. *Science*, 327, 833-834. <http://doi.org/10.1126/science.1186834>
- Feng, S., Krueger, S. y Oppenheimer, M. (2010). Linkages among climate change, crop yields and México-US cross-border migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(32), 14275-14262.
- Haim, D., Shechter, M. y Berliner, P. (2008). Assessing the impact of climate change on representative field crops in Israeli agriculture: a case study of wheat and cotton. *Climatic Change*, 86, 425-440.
- Hillel, D. and Rosenzweig, C. (2012). Agriculture and environment in a crowding and warming world. En D. Hillel y C. Rosenzweig (Eds.), *Handbook of climate change and agroecosystems: Global and Regional Aspects and Implications*. Imperial College Press. [http://doi.org/10.1142/9781848169845\\_0001](http://doi.org/10.1142/9781848169845_0001)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático/Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018). México. *Sexta comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. INECC / Semarnat.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability* [Reporte]. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). *Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report*. IPCC. [www.ipcc.ch/report/ar6/syr/](http://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/)
- International Institute for Environment and Development (22-25 de mayo de 2023). *The 17th International Conference on Community-based Adaptation to Climate Change* [Conferencia]. Bangkok, Thailand [www.iied.org/cba17-local-solutions-inspiring-global-action](http://www.iied.org/cba17-local-solutions-inspiring-global-action)
- Jones, P. y Thornton, P. (2003). The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*, 13, 51-59.
- Kok, M., Tyler, S., Prins, L., Pintér, L., Baumüller, H., Bernstein, J., Tsioumani, E., Venema, H. D., y Grosshans, R. (2010). *Prospects for Mainstreaming Ecosystem Goods and Services in International Policies*. Netherlands Environmental Assessment Agency / International Institute for Sustainable Development.
- Kuden, A. (2020). Climate change affects fruit crops. *Acta Horticulturae*, 1281, 437-440 <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1281.57>
- Liu, H., Li, X., Fischer, G. y Sun, L. (2004). Study on the impacts of climate change on China's agriculture. *Climatic Change*, 65, 125-148.
- Lobelland, D. y Ortiz-Monasterio, I. (2007). Impacts of day versus night temperatures on spring wheat yields. A comparison of empirical and CERES model predictions in three locations. *Agronomy Journal*, 99(2), 469-477.
- Luers, A. (2005). The surface of vulnerability: An analytical framework for examining environmental change. *Global Environmental Change*, 15, 214-223.
- Magrin, G., Gay García, C., Cruz Choque, D., Giménez, J. C., Moreno, A. R., Nagy, G. J., Nobre, C., y Villamizar, A. (2007). Latin America. En Parry, M. L., Canziani, O. F., Paluti-

- kof, J. P., van der Linden, P. J., y Hanson C. E. (Eds.), *Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental on Climate Change* (pp. 581-615). Cambridge University Press.
- McSweeney, C., New, M., Lizcano, G., y Lu, X. (2010). UNDP Climate change country profile. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(2), 157-166. <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2826.1>
- Medda, S., Fadda, A. y Mulas, M. (2022). Influence of climate change on metabolism and biological characteristics in perennial woody fruit crops in the Mediterranean environment. *Horticulturae*, 8(4). <http://doi.org/10.3390/horticulturae8040273>
- Munang, R., Thiaw, I., y Rivington, M. (2011). Ecosystem management: Tomorrow's approach to enhancing food security under a changing climate. *Sustainability*, 3, 937-954.
- Nalau, J., Becken, S., y Mackey, B. (2018). Ecosystem-based Adaptation: A review of the constraints. *Environmental Science & Policy*, 89, 357-364. <http://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.08.014>.
- Pielke, R., Prins, G., Rayner S. y Sarewitz, D. (2007). Lifting the taboo on adaptation. Renewed attention to policies for adapting to climate change cannot come too soon. *Nature*, 445(8), 597-598.
- Rajan, R., Ahmad, M., Pandey, K., y Aman, A. (2020). Climate Change and Resilience in Fruit Crops. En *Climate change and its effects on agriculture* (pp. 337-354). Biotec Books.
- Ramírez, H., Fajardo, A., Ortiz, A., y De la Torre, O. (2022). The Agricultural Sector and Climate Change in Mexico. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 23(3), 19-44.
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G., y Bennett, E. (2010). Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(11), 5242-5247. <https://doi.org/10.1073/pnas.0907284107>
- Rodríguez, A. (2022). Introducción. En *Ciclo de disertaciones sobre cambio climático y ambiente en la producción frutícola* (p. 4). Instituto Nacional de Tecnología Agrícola. INTA-EEA Alto Valle.
- Rosenzweig, C., Strzepek, K., Major, D., Iglesias, A., Yates, D., McCluskey, A., y Hillel, D. (2004). Water resources for agriculture in a changing climate: international case studies. *Global Environmental Change*, 14(4), 345-360. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.09.003>
- Sarkar, T., Roy, A., Choudhary, S., y Sarkar, S. (2021). Impact of climate change and adaptation strategies for fruit crops. En M. N. Islam y A. van Amstel (Eds.), *India: Climate change impacts, mitigation and adaptation in developing countries* (pp. 79-98). Springer Climate. [http://doi.org/10.1007/978-3-030-67865-4\\_4](http://doi.org/10.1007/978-3-030-67865-4_4)
- Seeberg-Elverfeldt, S. y Tapio-Biström, M. (2010) *Global survey of agricultural mitigation projects. Mitigation of Climate Change in Agriculture*. FAO.
- Seo, N., Mendelsohn, R., Dinar, A., Dinar, A., Kurukulasuriya, P. H., y Hassan, R. (2008). *Long-term adaptation: Selecting farm types across agro-ecological zones in Africa*

- [Documento de Trabajo de Investigación de Políticas]. The World Bank, Development Research Group.
- Scherr, S. y Sthapit, S. (2009). *Mitigating climate change through food and land use* [Reporte 179]. Worldwatch Institute.
- Sharma, L., Sadhukhan, R. y Hota, D. (2021). Neutralising climate change through fruit crops. *A Journal of Crop Science and Technology*, 10(3), 28-36. <http://doi.org/10.37591/RRJoCST>
- Sukhdev, P., Wittmer, H. y Miller, D. (2014). The Economics of Ecosystems and biodiversity (TEEB): Challenges and Responses. En D. Helm y C. Hepburn (Eds.), *Nature in the Balance: The Economics of Biodiversity*. Oxford University Press.
- Thomas, D., Twyman, C., Osbahr H. y Hewitson, B. (2007). Adaptation to climate change and variability farmer responses to intra-seasonal precipitation trends in South Africa. *Climatic Change*, 83, 301-322.
- Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B., van der Heijden, G., Jenkins, M., y Manning, P. (2009). *The Natural Fix? The Role of Ecosystems in Climate Mitigation*. United Nations Environment Programme. UNEP-WCMC.
- Torres, P., Rodríguez, L. y Ramírez, C. (2009). Sustentabilidad y cambio climático. Lineamientos de políticas de adaptación para la agricultura y el desarrollo rural. *Veredas*, 10(18), 39-62.
- Torres-Lima, P., Conway-Gómez, K. y Torres-Vega, P. (2022). Agriculture-Food Nexus. The Paradox of Sustainable Development in Mexico. En W. Leal Filho, M. Kovaleva y E. Pokova (Eds.) *Sustainable Agriculture and Food Security* (pp. 17-34). Springer. [http://doi.org/10.1007/978-3-030-98617-9\\_2](http://doi.org/10.1007/978-3-030-98617-9_2)
- United Nations Development Programme (2015). *Gender, Climate Change and Community-Based Adaptation Guidebook*. UNDP.
- Van Hoof, S. (2023). Climate Change Mitigation in Agriculture: Barriers to the Adoption of Carbon Farming Policies in the EU. *Sustainability*, 15(13). <http://doi.org/10.3390/su151310452>
- World Meteorological Organization (2021). *State of the Climate in Latin America and the Caribbean* [WMO-No. 1295]. WMO.
- Wu, L., Elshorbagy, A., y Helgason, W. (2023). Assessment of agricultural adaptations to climate change from a water-energy-food nexus perspective. *Agricultural Water Management*, 284. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108343>