



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

CREANDO CADENAS DE VALOR
MUNDIALES RESPONSABLES
**PARA FRUTAS TROPICALES
SOSTENIBLES**

Estrategias de adaptación al cambio climático para la industria de las frutas tropicales: una guía técnica para productores y exportadores de aguacate



**Estrategias de adaptación
al cambio climático para la industria
de las frutas tropicales:
una guía técnica para productores
y exportadores de aguacate**

Cita requerida:

FAO. 2024. *Estrategias de adaptación al cambio climático para la industria de las frutas tropicales: una guía técnica para productores y exportadores de aguacate*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cc9309es>

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

ISBN: 978-92-5-138660-6

© FAO, 2024



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>).

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: "La presente traducción no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en [idioma] será el texto autorizado".

Todo litigio que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación vigentes serán el reglamento de mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de manera conforme al reglamento de arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a publications-sales@fao.org. Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: www.fao.org/contact-us/licence-request. Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: copyright@fao.org.

Índice

Abreviaturas	vii
Agradecimientos	viii
Resumen	xi
Capítulo 1.	
Introducción a la guía	1
1.1 Importancia mundial del cambio climático y sus repercusiones en la agricultura: ¿por qué es necesaria la adaptación?	1
1.2 El cambio climático y sus efectos en la producción y el comercio mundial de las frutas tropicales	3
1.3 El aguacate como importante fruta tropical de exportación en riesgo de sufrir los efectos del cambio climático	6
1.4 El Proyecto de Frutas Responsables y la Estrategia de la FAO sobre el cambio climático	8
1.5 ¿Cuál es el propósito de la guía y a quién va dirigida?	10
1.6 Metodología y limitaciones de la guía	11
1.7 Estructura de la guía	12
Capítulo 2.	
Alcance de la guía	13
2.1 Producción y exportación de aguacate	13
2.2 Tendencias climáticas que afectan a los principales países productores y exportadores	16
2.3 Las contribuciones determinadas a nivel nacional y la importancia de los Planes Nacionales de Adaptación para el sector agrícola	22
Capítulo 3.	
Riesgos climáticos que enfrenta la producción de aguacate	27
3.1 Temperatura	29
3.2 Precipitación	32
3.3 Ciclo de producción alternante	34
3.4 Plagas y enfermedades	35
3.5 Reducción de polinizadores	36
3.6 Erosión del suelo	37
3.7 Vientos fuertes	38



Capítulo 4.

Estrategia de adaptación al cambio climático para el aguacate	41
4.1 Agroforestería	43
4.2 Sistemas de protección anti-heladas	45
4.3 Sistemas de drenaje	48
4.4 Sistemas de alerta temprana y sistemas de seguimiento	51
4.5 Manejo integrado de plagas	54
4.6 Gestión integrada del agua agrícola	58
4.7 Acolchado o mantillo (<i>mulch</i>) y cultivos de cobertura	60
4.8 Fertilizantes orgánicos (compost y biofertilizantes)	64
4.9 Fitomejoramiento	66
4.10 Protección de polinizadores y apicultura	69
4.11 Mallas de sombreo (o mallas sombra)	71
4.12 Gestión forestal sostenible	74
4.13 Manejo de residuos	78
4.14 Sistemas de riego eficientes en el uso del agua	80
4.15 Cortina rompevientos y cercas vivas	85

Capítulo 5.

Discusión y conclusiones	89
---------------------------------	-----------

Anexo 1.

Recursos sugeridos	97
Publicaciones y artículos técnicos y de orientación	97
Herramientas y sitios web	99
Notas de orientación y publicaciones completas	100

Referencias	101
--------------------	------------

Figuras

1. Principales frutas tropicales: proporciones del volumen de exportación por tipo, 2022, medido en miles de millones de USD, dólar constante (2014–16) y toneladas	7
2. Mapa de la distribución mundial de la producción de aguacate	14
3. Cantidades de exportación de aguacate de los principales exportadores 2018–2022, datos preliminares para 2022	15
4. Temperaturas medias proyectadas para 2100, por modelo SSP y país productor de aguacate	17
5. Precipitación media proyectada para 2100, período de referencia 1995–2014, para los países productores de aguacate	18
6. Porcentaje de cambio de precipitación para 2100 utilizando el modelo SSP2-4,5, en países productores de aguacate	18
7. Puntos de entrada del sector privado en la planificación de las CDN relacionadas con los sectores agrícolas, por región y subsector	24
8. Aguacate con señas de quemaduras solares	30
9. Efecto del granizo en el fruto del aguacate	32
10. Una abeja <i>A. mellifera</i> en una flor de aguacate	37
11. Señales de daños por viento en la piel del aguacate	39
12. El ciclo del agua en un campo con drenaje subterráneo	49
13. Flujo de información en un sistema de alerta temprana	52
14. <i>Cajanus cajan</i> utilizado como cultivo de cobertura y para atraer polinizadores en un huerto de aguacate en el Perú	55
15. Muestreo de suelo para la recolección de fitopatógenos de raíz	56
16. Diseño <i>Keyline</i> como ejemplo de gestión integrada del agua agrícola	59
17. Utilización de cultivos de cobertura (<i>Trifolium repens L.</i>) y <i>mulch</i> en huertos de aguacate en el Perú	62
18. Flujo de material para el proceso de compostaje	65
19. Posibles rasgos del aguacate para la transformación a través del mejoramiento genético	67
20. Un grupo de colmenas en México	70
21. Mallas de sombreo para el control de la luz solar en las plantaciones de aguacate	73
22. Diagrama del bosque gestionado incluyendo las diferentes especies arbóreas y subáreas forestales	75
23. Protección de bosques y producción de aguacate en Michoacán, México	77
24. Astillas de aguacate podado para procesar y minimizar la quema	80
25. Sistema de riego por goteo por anillos	82
26. Efecto de la cortina forestal en la reducción de la velocidad del viento (arriba) y la eficacia de la protección con respecto a la altura (H) de la cortina (abajo)	86

Cuadros

1. Efectos del cambio climático en la fenología de los cultivos frutales	4
2. Panorama general de las tendencias en temperatura y precipitación conexas al cambio climático en los países productores de aguacate seleccionados	19
3. Resumen del apoyo brindado por el Programa NAP-Ag a los países para el desarrollo de sus Planes Nacionales de Adaptación	25
4. Principales riesgos climáticos y otras repercusiones y amenazas conexas para la producción de aguacate	28
5. Efectos de la temperatura en la producción de aguacate	29
6. Resumen de efectos del déficit o exceso de agua en la producción de aguacate	32
7. Plagas y enfermedades más frecuentes en la producción de aguacate	35
8. Lista de prácticas de adaptación climática y peligros y repercusiones climáticas que abordan	42
9. Variedades de aguacate más resistentes al estrés por frío y las heladas	47
10. Subproductos derivados de residuos de aguacate (no exhaustivo)	79

Recuadros

1. Introducción de sistemas agroforestales en las zonas de producción de aguacate en Viet Nam	44
2. Uso de sistemas anti-heladas en Chile	47
3. Uso de sistemas de drenaje por una empresa de aguacate en Colombia	50
4. Ejemplo de MIP por una empresa de aguacate	57
5. Uso de cultivos de cobertura para minimizar la erosión del suelo y la evaporación del agua en el Perú	63
6. Prácticas de fitomejoramiento en México	68
7. Protección de las poblaciones de polinización a través de un enfoque integrado en México	71
8. Programa de reforestación en México en colaboración con las comunidades locales	77
9. Uso de prácticas de gestión del agua a través de sistemas de riego en la zona costera del Perú	84
10. Implementación de cortinas rompevientos para reducir los efectos de fuertes vientos en la producción de aguacate en México	87

Abreviaturas

APEAJAL	Asociación de Productores Exportadores de Aguacate de Jalisco
APEAM	Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México, A.C.
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CLPI	consentimiento libre, previo e informado
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNRF	Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria
COP21	Conferencia de las Partes en la CMNUCC
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GEI	gases de efecto invernadero
GFS	gestión forestal sostenible
HAB	Junta de Aguacate Hass
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MIP	manejo integrado de plagas
CDN	contribuciones determinadas a nivel nacional
NAP-Ag	Integración de la agricultura en los planes nacionales de adaptación
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SAT	sistema de alerta temprana
SyE	seguimiento y evaluación
TFNet	Red Internacional sobre Frutas Tropicales

Agradecimientos

La presente guía fue elaborada por la División de Mercados y Comercio de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y es uno de los productos del proyecto “*Creación de cadenas de valor mundiales responsables para frutas tropicales*” (**Proyecto de Frutas Responsables**). El objetivo del proyecto es ayudar a empresas, organizaciones de productores y agricultores, asociaciones comerciales, procesadores, empacadores, exportadores e importadores del sector de la piña a ser más resilientes a las crisis y más sostenibles.

Esta publicación fue preparada por Marlo Rankin, experta en agronegocios; María Hernández Lagana, oficial de proyectos (Resiliencia) y Juan Mata, consultor agrónomo, de la División de Mercados y Comercio de la FAO. El apoyo a la investigación y la divulgación estuvo a cargo de Valentina Pérez-Mardones, Especialista en difusión e informar y Giuseppe Bonavita, asistente de investigación de la División de Mercados y Comercio de la FAO. Este documento se benefició de la orientación técnica general y el apoyo de Pascal Liu, economista superior y líder del Equipo de cadenas de valor mundiales responsables, y Michael Riggs, asesor técnico del Proyecto de Frutas Responsables. Las revisiones técnicas internas de capítulos específicos estuvieron a cargo de David Montealegre Morales (Foro Mundial Bananero), Soren Moller (División de Producción y Protección Vegetal), Karem del Castillo Velázquez (División de Actividad Forestal) y Julia Wolf, Neha Rai, Catarina Angioni y Lapo Roffredi (todos de la Oficina de Cambio Climático, Biodiversidad y Medio Ambiente), cuyos valiosos comentarios contribuyeron a mejorar la guía. Entre otros miembros del equipo que contribuyeron a la guía se incluyen: Debora Piscitelli, Jonathan Hallo, Ettore Vecchione y Araceli Cárdenas, quienes brindaron apoyo en la coordinación de la publicación y crearon el diseño gráfico.

Un agradecimiento sincero a los puntos focales para el cambio climático de las oficinas nacionales de la FAO en Chile, Colombia, Costa Rica, el Ecuador, Kenya, México, el Perú y Sudáfrica, por sus útiles sugerencias sobre recursos, proyectos y publicaciones relevantes que se incluyeron en la guía. Un agradecimiento especial a Beau Damen de la Oficina Regional de la FAO para Asia y el Pacífico (RAP), Geiner Arturo Urena Sánchez de FAO-Costa Rica, Gonzalo Tejada López y Renzo Guillén de FAO-Perú, María Alejandra Chaux, Jorge Gutiérrez y María Vergara de FAO- Colombia, Ana Andrade, María Espinosa y María Belén Herrera de FAO-Ecuador, Rodrigo Vásquez de FAO-Chile, Silvio Simonit de FAO-México, Barrack Okoba de FAO-Kenya y Jacoray Khunou de FAO-Sudáfrica.

La preparación de esta guía no hubiera sido posible sin el apoyo de las empresas y de las asociaciones de productores de aguacate que participaron activamente en el Grupo de trabajo sobre cambio climático establecido para su preparación. Se agradece, de igual forma, a las empresas y asociaciones de productores que aportaron ejemplos de buenas prácticas de adaptación a los riesgos climáticos y que proporcionaron revisiones técnicas de las prácticas de adaptación destacadas en el **Capítulo 4**. Entre otros, se incluyen: Armando García Angulo (APEAJAL), Carlos Caballero Pickmann (Westfalia Fruit), María Isabel Larragoiti (APEAM), Juan Rafael Elvira Quesada (APEAM), Maya da Silva (Westfalia

Fruit), Rafael Urrea López (CIATEJ), Susan Saavedra Porras (Cartama) y Xicotencatl Camacho Coronel (APEAM) y Yacob Ahmad (TFNet). De igual manera, sinceros agradecimientos a las empresas que han preferido no ser mencionadas.

Se agradece también a Miguel Lizarazo, Anton Eitzinger, Deissy Martínez Barón, Andrea Castellanos, Lizette Diaz y Jhon Jairo Hurtado de la Alianza de Bioversity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), quienes brindaron información valiosa para la elaboración de esta guía.

Resumen

El cambio climático ocasionado por el ser humano se ha convertido en una realidad visible y los países de todo el mundo están sufriendo repercusiones generalizadas y extendidas en sus ecosistemas, poblaciones e infraestructura, como resultado del aumento en la frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos. En los países en desarrollo, el sector agrícola se encuentra entre los más afectados por los efectos del cambio climático y sufre una gran parte del total de pérdidas y daños causados por los desastres relacionados con el clima. Asimismo, el cambio climático está impactando los sistemas mundiales agroalimentarios, generando un desafío difícil: alimentar a la creciente población mundial. El sector de las frutas tropicales corre un riesgo especial debido a los efectos negativos del cambio climático inducidos por el aumento de las temperaturas, los fenómenos meteorológicos extremos (entre otros, los ciclones tropicales) y los desafíos ligados a estos, como el estrés hídrico y el aumento de plagas y enfermedades. Este panorama plantea riesgos significativos para la sostenibilidad a largo plazo de la producción y el comercio de las frutas tropicales, como el aguacate.

La adaptación al cambio climático podría describirse como el proceso de adaptación a los cambios actuales o previstos en el clima y a sus efectos. Las medidas que se tomen hoy pueden reducir la vulnerabilidad y la exposición a los efectos del cambio climático y pueden construir la resiliencia de los sistemas agrícolas para garantizar que estos no solo se recuperen después de choques climáticos, sino que también se transformen a fin de estar mejor preparados para enfrentar las crisis y las presiones futuras. Algunas estrategias de adaptación también contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) o capturando y almacenando el carbono de la atmósfera.

El clima desempeña una función importante en la determinación de la distribución de los cultivos de frutas perennes, la fenología, la calidad de la fruta y los brotes de plagas y enfermedades. Las características fisiológicas y del rendimiento de las frutas son sensibles a los efectos del cambio climático. Los factores ambientales, como la temperatura, la sequía, la salinidad, las inundaciones, la concentración de dióxido de carbono y los patógenos, impactan con mayor fuerza en la producción de frutas, ya que estos factores tienen una correlación directa con las etapas fisiológicas regulatorias de los árboles frutales. También es probable que los efectos del cambio climático sean más perjudiciales en los cultivos frutales perennes, en comparación con los cultivos anuales, ya que la capacidad de adaptación de los cultivos de menor duración suele ser mayor que la de los cultivos perennes.

Desde el punto de vista comercial, las frutas tropicales siguen estando entre los productos de mayor crecimiento. Las frutas tropicales representan una fuente importante en el crecimiento económico, ingresos, inocuidad alimentaria y nutrición para los sectores rurales de muchos países en desarrollo. El alto crecimiento de los ingresos en los países en desarrollo, en conexión a una mayor

conciencia de los beneficios nutricionales de las frutas tropicales en los países desarrollados, están contribuyendo al crecimiento mundial de la demanda y el consumo de frutas tropicales. A nivel mundial, la piña, el aguacate y el mango siguen siendo las tres frutas tropicales más comercializadas en términos de cantidades exportadas, después del banano. A medida que la industria crezca en valor, los recursos naturales que ya están bajo presión, enfrentarán una presión adicional debido a los efectos del cambio climático y las enfermedades de las plantas que se propagan con mayor rapidez, lo que amenaza con reducir la productividad. Los fenómenos meteorológicos adversos y el cambio climático siguen siendo los principales obstáculos para la producción, dado que el cultivo de estas frutas se realiza en zonas tropicales vulnerables al clima donde se prevén fenómenos meteorológicos aún más extremos.

En reconocimiento de estos desafíos, el **Proyecto de Frutas Responsables** ha elaborado esta guía técnica sobre estrategias de adaptación al cambio climático para la industria exportadora de aguacate. El proyecto se basa en más de una década de experiencia de la labor de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) con el sector privado en materia de frutas tropicales¹. El trabajo de la FAO con las empresas, organizaciones y asociaciones de agricultores y otros actores de la cadena de valor del aguacate, tiene por objetivos mejorar el desempeño empresarial, ayudar a que esta industria sea más resiliente a las crisis y más sostenible, y fortalecer o establecer sistemas de debida diligencia basados en el riesgo. También proporciona un entorno confidencial para el aprendizaje entre pares sobre cuestiones precompetitivas, a través de seminarios web y otros eventos para fomentar el intercambio de conocimientos y la capacitación.

Esta guía forma parte de una serie de productos desarrollados por el proyecto con base en la demanda. El tema de la adaptación al cambio climático fue seleccionado en colaboración con los participantes del proyecto como un tema necesario para abordar en el contexto del fortalecimiento de la resiliencia y la sostenibilidad de las empresas.

La guía también está alineada con la estrategia de la FAO sobre el cambio climático, que se centra en mejorar las capacidades para implementar las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN) en el marco del Acuerdo de París², apoyando a los países para adaptarse a y mitigar los efectos y las causas del cambio climático. Esto se logra a través de programas y proyectos basados en investigaciones orientadas a adaptar la producción de los pequeños agricultores y hacer que los medios de vida de las poblaciones rurales sean más resilientes.

¹ Esto incluye facilitar el Foro Mundial Bananero, la principal plataforma de multiactor del sector bananero, que trabaja con más de 30 empresas y asociaciones agroindustriales líderes para aplicar las recomendaciones de debida diligencia basada en riesgos de la Guía OCDE-FAO para las cadenas de suministro responsable en el sector agrícola.

² El Acuerdo de París exhorta a cada una de las Partes a describir y comunicar sus acciones climáticas posteriores a 2020 para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse a los efectos del cambio climático, a través de las contribuciones determinadas a nivel nacional.

El propósito de esta guía técnica es:

- proporcionar información actualizada sobre los efectos del cambio climático y sus tendencias, actuales y previstas, en los principales países productores y exportadores de aguacate;
- identificar los riesgos y los efectos del cambio climático en la producción y el comercio de aguacate;
- identificar prácticas de adaptación y recomendaciones que puedan contribuir a afrontar estos riesgos, minimizar las repercusiones negativas y fortalecer la resiliencia;
- compartir las buenas prácticas adoptadas por las empresas para afrontar, de manera sostenible, riesgos de producción específicos relacionados con el clima; y
- identificar brechas en la información y la investigación, además de las soluciones técnicas necesarias para consolidar la disponibilidad de las prácticas de adaptación y su adopción.

Esta guía está dirigida a productores y otros actores de la cadena de valor de aguacate que estén interesados en aprender más sobre el cambio climático en el contexto de sus propios sistemas comerciales. Fue preparada a través de un proceso de consultas con empresas de aguacate que participan en el Proyecto de Frutas Responsables. En virtud del plazo disponible para preparar la guía, y la naturaleza mundial del proyecto, este documento tiene algunas limitaciones que fueron discutidas y acordadas con las empresas y asociaciones de productores que participaron en un grupo de trabajo específico. Entre otras limitaciones se incluyen: la imposibilidad de realizar investigaciones científicas longitudinales sobre el terreno que podrían ser necesarias para dar respuestas a cuestiones específicas relacionadas con los efectos del cambio climático en el aguacate a lo largo del tiempo, en diversas condiciones de producción. Sobre aquella base, **esta guía busca ser un medio para destacar los riesgos relacionados con el cambio climático y los desafíos que los productores de algunos países están enfrentando, además de las soluciones de adaptación que están implementando para reducir estos riesgos**, y no pretende ser una guía científica exhaustiva que propone soluciones de adaptación aplicables a todos los contextos.

En cuanto a la estructura de la guía, el **Capítulo 1** presenta los antecedentes y analiza la repercusión del cambio climático en la agricultura mundial y en la producción de frutas tropicales. También explica el propósito y las limitaciones de la guía, como se mencionó anteriormente.

El **Capítulo 2** explica el alcance de la guía, incluidos los países seleccionados para una mayor investigación sobre los efectos del cambio climático en la producción de aguacate; las tendencias climáticas que afectan a estos países; y una breve descripción de algunas de las experiencias de los países, hasta la fecha, en la preparación de Planes nacionales de adaptación (PNDA) para el sector agrícola.

Dado el enfoque mundial del Proyecto de Frutas Responsables en **la producción y el comercio** sostenibles de aguacate, la selección de los países para una mayor investigación se basó en su importancia relativa para la **producción y exportación mundial** que, como tales, son fuentes importantes de empleo e ingresos por exportaciones para los países. Sobre esta base, se seleccionaron seis países productores y exportadores de aguacate: **Chile, Colombia, México, el Perú, Kenya y Sudáfrica.**

Se llevó a cabo una revisión de las tendencias climáticas de referencia y las proyecciones futuras de temperatura y precipitación para los seis países seleccionados, con base en los datos obtenidos de los **Perfiles de países sobre riesgo climático del Banco Mundial** (disponibles en inglés) y datos generales a nivel de país disponibles en el **Portal de conocimientos sobre el cambio climático del Banco Mundial** (disponible en inglés).

El Banco Mundial estima que **las temperaturas promedio en todos los principales países productores de aguacate incluidos en esta guía aumentarán** en los cinco escenarios de emisiones modelados en el marco del cambio climático³.

La variabilidad de las precipitaciones (distribución, frecuencia y cantidad durante el año) y los cambios a largo plazo tienen efectos diferenciados sobre la producción de aguacate, dependiendo de si se experimenta déficit o exceso hídrico en etapas específicas del desarrollo de la planta. A diferencia de la temperatura, los patrones de precipitación futuros no muestran una tendencia clara y varían según la región y el país productor. Sin embargo, **se prevé que las regiones húmedas se volverán aún más húmedas, mientras que las regiones secas se volverán aún más secas.**

De acuerdo con estos argumentos sobre las tendencias climáticas a nivel nacional, es importante comprender cómo los países están planificando y coordinando sus esfuerzos para afrontar el cambio climático a través de medidas de reducción de las emisiones de GEI y la ejecución de planes de adaptación a nivel nacional. En el ámbito internacional, el fundamento de estas acciones surge del **Acuerdo de París**. La ejecución del Acuerdo de París por parte de cada país signatario se logra a través de planes nacionales de acción climática conocidos como **contribuciones determinadas a**

³ El Banco Mundial estimó las temperaturas medias futuras hasta 2100 utilizando cinco posibles escenarios futuros que consideran los niveles de emisiones y el modelo de trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP). Cada escenario analiza las emisiones, los esfuerzos de mitigación y el desarrollo de los países, utilizando las temperaturas promedio entre 1995 y 2014 como período de referencia. Estos modelos son SSP1-1,9: Escenario más optimista que describe un mundo donde las emisiones globales de CO₂ se reducen a cero neto para 2050. SSP1-2,6: El cero neto se alcanza después de 2050 y las temperaturas se estabilizan alrededor de 1,8 °C más alto para 2100. SSP2-4,5: Las emisiones de CO₂ comienzan a disminuir después de 2050 y no llegan a cero neto hasta 2100. El progreso hacia la sostenibilidad es lento, con un desarrollo y un crecimiento desiguales de los ingresos; y las temperaturas aumentan 2,7 °C para 2100. SSP3-7,0: Las emisiones de CO₂ aproximadamente se duplicarán con respecto a los niveles actuales para 2100 y las temperaturas aumentarán 3,6 °C para 2100. SSP5-8,5: Los niveles actuales de emisiones de CO₂ casi se duplicarán para 2050. La economía mundial crecerá rápidamente dependiendo de los combustibles fósiles y llevando estilos de vida a alto consumo de energía; la temperatura media mundial será 4,4 °C más alta.

nivel nacional (CDN), que describen los esfuerzos por cada país después del 2020 para reducir las emisiones nacionales de GEI y adaptarse a los efectos del cambio climático.

En los sectores agrícolas, la adaptación al cambio climático se encuentra entre las principales prioridades identificadas en los Planes Nacionales de Adaptación de los países en desarrollo. Para abordar los desafíos antes mencionados, desde 2015, la FAO y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) se han asociado para trabajar con los países e integrar soluciones de adaptación específicas para el sector agrícola (programa NAP-Ag por sus siglas en inglés) como parte de los Planes Nacionales de Adaptación en sentido más amplio. En este programa se han incluido dos de los principales países productores de aguacate: **Colombia y Kenya**. Si bien los planes desarrollados no se centran específicamente en el sector de las frutas tropicales, estos merecen una mayor consideración dado que la identificación de los factores de riesgo climático para la agricultura y las medidas de adaptación propuestas también son relevantes para la producción de frutas tropicales (por ejemplo, manejo del agua, conservación del suelo, protección de la biodiversidad, agroforestería, sistemas de alerta temprana, etc.).

En el contexto de la industria de las frutas tropicales, es útil comprender cómo sectores específicos de productos como la producción y exportación de aguacate, pueden contribuir a lograr los objetivos de adaptación y mitigación establecidos en las CDN y los Planes Nacionales de Adaptación. Estos objetivos pueden ayudar a la industria a armonizar su voluntad con los esfuerzos nacionales y subregiones, donde existan, y demostrar a los responsables de las políticas que la industria está realizando esfuerzos colectivos para apoyar estos planes.

En el **Capítulo 3**, el enfoque cambia de las tendencias climáticas a nivel nacional para centrarse en los riesgos climáticos específicos que enfrenta la producción de aguacate en una variedad de países y analiza las repercusiones de estos riesgos en la producción. Se identificaron 13 riesgos climáticos importantes a través de una revisión de la literatura científica y consultas con productores y asociaciones de la industria aguacatera. Estos riesgos se clasifican según los riesgos de temperatura (es decir, aumento de temperaturas, calor extremo, heladas y granizadas); los riesgos de precipitación (es decir, lluvias intensas, cambios en los patrones de lluvia, escasez de agua y sequía); y riesgos mixtos u “otros” relacionados con los efectos del cambio climático; incluidos el ciclo de producción alternante, la reducción de polinizadores, la propagación de plagas y enfermedades, la erosión del suelo y los vientos fuertes. Para cada uno de los factores de riesgo identificados, se describen los efectos en la producción de aguacate y sus repercusiones en las dimensiones sociales o económicas de la producción, además de resaltar algunos de los riesgos específicos experimentados en diferentes países productores de aguacate. La comprensión de estos riesgos puede ayudar a los productores de aguacate a planificar su gestión.

En el **Capítulo 4**, se presentan las estrategias de adaptación al cambio climático identificadas en respuesta a los riesgos discutidos en el Capítulo 3 para la producción de aguacate. Estas prácticas se identificaron mediante consultas con los principales actores de la industria y en la literatura científica.

Las prácticas recomendadas están estrechamente vinculadas a diferentes enfoques que promueven tanto la adaptación al clima como la sostenibilidad a través de múltiples dimensiones. Estos enfoques incluyen la agricultura climáticamente inteligente, la agroecología, la agricultura regenerativa y la agricultura de precisión. Se identificaron 15 prácticas de adaptación: agrosilvicultura, sistemas de protección anti-heladas, sistemas de drenaje, sistemas de alerta temprana, manejo integrado de plagas, manejo integrado del agua, acolchado o mantillo y cultivos de cobertura, fertilizantes orgánicos, fitomejoramiento, protección de polinizadores y apicultura, mallas de sombreo, gestión forestal sostenible (GFS), manejo de residuos, sistemas de riego eficientes en el uso del agua y cortinas rompevientos y cercas vivas. Las prácticas seleccionadas pueden ayudar a los productores de aguacate a adaptarse a los principales riesgos climáticos identificados, contribuyendo directamente al fortalecimiento de la resiliencia ante futuras crisis. Se proporciona una breve descripción de cada práctica junto con el potencial de beneficios adyacentes en las dimensiones ambientales, económicas o sociales. También se ofrecen ejemplos de prácticas de adaptación en acción por parte de empresas y asociaciones de productores.

Por último, en el **Capítulo 5** se resumen los principales hallazgos de la guía y se analizan algunos de los desafíos en la formulación y la implementación de recomendaciones de adaptación. Se discuten las brechas en la información y la investigación, soluciones técnicas y de capacidad y se formulan recomendaciones sobre cómo podrían abordarse estas brechas para fortalecer la disponibilidad y la adopción de prácticas de adaptación.

Algunos de los mensajes clave destacados en el capítulo:

- **Se requiere la adaptación al cambio climático para garantizar la continuidad de la producción y el comercio mundial de aguacate.** Con la adaptación al cambio climático, las empresas y las asociaciones de productores podrán proteger sus sistemas de producción y cuidar del medio ambiente y de sus trabajadores, reduciendo al mismo tiempo la creación de nuevos riesgos conexos al aumento de las emisiones de GEI y el calentamiento mundial.
- **Es evidente que los fenómenos meteorológicos extremos aumentarán en frecuencia e intensidad.** Asimismo, se prevé la **aparición simultánea de múltiples factores de riesgo climático** en las mismas regiones, lo que, en combinación con otros factores ajenos al clima (como contracciones económicas o pandemias), aumentará el riesgo general para los sistemas de producción agrícola. Los productores de aguacate deben estar preparados para enfrentar de manera sincronizada múltiples riesgos, lo que se puede lograr mediante la combinación de prácticas de adaptación.
- **Ya se cuenta con conocimiento e información sobre cómo adaptarse al cambio climático en el sector del aguacate** y muchas empresas y asociaciones de productores están asumiendo un papel proactivo en la formulación de estrategias y probando prácticas sobre el terreno para hacer frente al cambio climático y a los eventos climáticos extremos.

- **Las prácticas de adaptación destacadas en la guía abordan múltiples riesgos climáticos y sus repercusiones de manera simultánea.** Esto es importante, ya que las estrategias de adaptación que abordan solo un factor de riesgo no lograrán el efecto deseado.
- **La adaptación al cambio climático es un proceso continuo que lleva tiempo y requiere información y datos.**
- **Los esfuerzos de adaptación y mitigación para reducir las emisiones de GEI deben ir de la mano** cuando sea posible. La adopción de prácticas de adaptación que tengan potencial de mitigación de los efectos del cambio climático ayudará no solo a reducir las emisiones, sino también a extender la vida útil de las prácticas de adaptación disponibles. Asimismo, se pueden formular estrategias de mitigación de manera que contribuyan a la adaptación y la refuercen. Algunas de las prácticas de adaptación identificadas para la producción de aguacate, como el manejo sostenible del suelo, la agroforestería, la gestión forestal sostenible y la reducción y el manejo de residuos, también tienen efectos positivos en la reducción de las emisiones de GEI en el sector de la producción.
- En la medida de lo posible, **todas las prácticas de adaptación deben apuntar a mantener una perspectiva de sostenibilidad en sus tres dimensiones.** Si bien la dimensión ambiental es el punto de entrada obvio para promover la adaptación en el sector de las frutas tropicales, también es fundamental abordar los riesgos sociales (por ejemplo, la salud de los trabajadores) y económicos (por ejemplo, mayores costos para mantener la infraestructura) asociados a los efectos del cambio climático para mantener la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones comerciales.
- **Se necesita más investigación para entender los riesgos climáticos para la salud humana.** Algunas empresas productoras de aguacate ya han identificado estos riesgos, especialmente los relacionados con el **estrés térmico y las enfermedades asociadas a ello**, derivadas del aumento de las temperaturas y la radiación solar.
- **Las mujeres y los jóvenes se encuentran entre los grupos de mayor riesgo en lo que respecta a las repercusiones del cambio climático**, sin embargo, se dispone de poca información sobre los factores de riesgo específicos y soluciones de adaptación diseñadas para satisfacer sus necesidades. No se pudo encontrar ninguna investigación sobre los efectos específicos del cambio climático en las mujeres y los jóvenes relacionados con su participación en la cadena de valor mundial del aguacate. Esto indica una brecha clara en el conocimiento para la industria, dada la función importante que desempeñan las mujeres en la cosecha y el empaque del producto. Se necesita urgentemente investigación en temas de género para comprender mejor los principales factores que explican las diferencias en la vulnerabilidad a los riesgos del cambio climático que existe entre mujeres y hombres, y cómo formular estrategias de adaptación adecuadas para abordarlos.
- El cambio climático tiene **implicaciones para la seguridad alimentaria y la nutrición.** El aguacate forma parte de una dieta saludable y representa una fuente importante de vitaminas y sustancias

nutritivas para los consumidores tanto de los países productores como de los importadores. Sobre esta base, las empresas de aguacate podrían examinar cómo pueden apoyar a las poblaciones vulnerables en sus comunidades locales a través de programas con enfoques sociales específicos que tengan como objetivo mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición, como la contratación pública (por ejemplo, programas de alimentación escolar, servicios de comedores comunitarios) y bancos de alimentos.

- **Los cambios en los patrones climáticos repercuten en los medios de vida y los ingresos de los actores de la industria.** Tanto la producción como el comercio pueden verse afectados a medida que la producción se vuelve más errática bajo las condiciones del cambio climático, y la calidad se ve afectada por fuertes tormentas, sequías repentinas, patógenos más frecuentes y otros cambios. La inconsistencia en la oferta de productos con calidad de exportación puede desafiar los ingresos generados por el sector, y esto puede producir importantes efectos en los flujos de caja en los segmentos iniciales de la cadena de valor. La producción poco confiable también puede afectar las opciones de medios de vida de los productores y las comunidades y crear desafíos relacionados con el mantenimiento de dietas saludables y nutritivas.
- **No se puede lograr una mejora en la capacidad de adaptación y la resiliencia climática de la cadena de valor del aguacate mediante un enfoque unilateral.** Los desafíos complejos asociados a los efectos del cambio climático se resuelven mejor mediante la cooperación entre múltiples actores, incluidos gobiernos, empresas, organizaciones de productores, institutos de investigación y formación, sindicatos de trabajadores y otras organizaciones de la sociedad civil. El establecimiento de mecanismos para la colaboración de múltiples actores podría ser el enfoque más eficaz para hacer frente a las repercusiones del calentamiento global en la industria del aguacate en el futuro.
- **A nivel institucional y normativo,** el trabajo de la FAO es un paso esencial para ayudar a los países a **integrar soluciones de adaptación específicas para el sector agrícola como parte de los PNDA en sentido más amplio.** La comprensión de estos planes por parte de los productores y exportadores de aguacate podría ayudar a la industria a alinear sus estrategias con los planes nacionales y subregionales y demostrar a los responsables de las políticas que la industria está realizando esfuerzos colectivos en apoyo a estos planes. Para avanzar aún más ante estos desafíos, también se necesitan esfuerzos para generar evidencia de los efectos de la implementación de prácticas de adaptación, mediante un mejor seguimiento y evaluación (SyE).

En términos del alcance del Proyecto de Frutas Responsables, más allá de la guía, el Proyecto se ha comprometido a apoyar a los productores y exportadores de aguacate a nivel mundial, a través de la preparación de productos de conocimiento para enfrentar el cambio climático y otros riesgos de sostenibilidad identificados. El proyecto está preparando diversos materiales y herramientas técnicas adaptados a la industria aguacatera, algunos de los cuales también son aplicables al sector de las frutas tropicales en general. Estos productos se analizan en el **Capítulo 5**. Dos de ellos complementan esta guía técnica sobre adaptación al cambio climático:

- La Guía técnica para el **análisis de brechas** que ayuda a las empresas a comparar los estándares y políticas que utilizan con los de la **Guía OCDE-FAO para las cadenas de suministro responsable en el sector agrícola**, busca ser un punto de referencia mundial en materia de debida diligencia y conducta empresarial responsable para el sector agrícola.
- Asimismo, el proyecto está desarrollando una **herramienta de medición de la huella de carbono y de agua (CWF, por sus siglas en inglés) para la industria de la piña**. Esta herramienta tiene como objetivo apoyar a productores, empresas y asociaciones a comprender mejor cómo a través de sus operaciones, ya sean pequeñas, medianas o grandes, pueden reducir sus emisiones de carbono y prevenir la degradación de los recursos hídricos. Una herramienta similar podría ser desarrollada para el sector del aguacate si existe suficiente demanda y recursos disponibles.

En conclusión, esta guía es un producto del Proyecto de Frutas Responsables, y está dirigida a aquellos productores y exportadores de aguacate que estén interesados en aprender más sobre el cambio climático en el contexto de sus propios sistemas comerciales. Se espera que esta publicación sea el punto de partida para la discusión sobre los efectos nacionales, regionales y locales del cambio climático en la producción de aguacate, y estimule la planificación conjunta para la investigación de soluciones de adaptación a fin de apoyar la sostenibilidad a largo plazo de la industria de exportación. De hecho, se necesita más investigación longitudinal, específica para cada producto y zona, para comprender mejor los riesgos climáticos y sus efectos a largo plazo en los cultivos de frutas tropicales, a fin de identificar soluciones de adaptación innovadoras.

El **Anexo 1** proporciona una lista de recursos adicionales (sitios web de proyectos, publicaciones, etc.) para quienes estén interesados en aprender más sobre el cambio climático y sus repercusiones en la agricultura, las frutas tropicales y las opciones de adaptación.

Capítulo 1.

Introducción a la guía



1.1 Importancia mundial del cambio climático y sus repercusiones en la agricultura: ¿por qué es necesaria la adaptación?

El cambio climático inducido por los seres humanos se ha convertido en una realidad palpable; y los países de todo el mundo están sufriendo efectos generalizados y extendidos en sus ecosistemas, poblaciones e infraestructura, como resultado del aumento en la frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos. Estos eventos incluyen temperaturas extremas en la tierra y los océanos, fuertes precipitaciones, sequías, incendios y ciclones tropicales que se prevé que afectarán a todas las regiones del mundo hoy día y en las próximas décadas (IPCC, 2021, 2022). En los países en desarrollo, los sectores agrícolas se encuentran entre los más afectados por los efectos del cambio climático y absorben una gran parte del total de pérdidas y daños causados por los desastres relacionados con el clima (FAO, 2018a). El calentamiento global está impactando los sistemas mundiales de producción de alimentos, volviendo el desafío de alimentar a la creciente población mundial más difícil que nunca. Si bien la productividad agrícola mundial ha aumentado, en los últimos 50 años, el cambio climático ha ralentizado este crecimiento (IPCC, 2022). El aumento de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos ha expuesto a millones de personas a una inseguridad alimentaria aguda y a una reducción de la seguridad hídrica, observándose las mayores repercusiones en muchos lugares de África, Asia, América Central y del Sur, los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo y el Ártico (IPCC, 2022).

Asimismo, la conexión entre los efectos del cambio climático y la pérdida de biodiversidad es evidente. En todas las regiones se ha observado pérdida de especies, degradación y daños a los ecosistemas debido al reciente calentamiento mundial (IPCC, 2021, 2022; FAO, 2019). La destrucción de hábitats naturales, la deforestación y la exposición a sustancias químicas sintéticas han contribuido a la pérdida de organismos beneficiosos, como polinizadores y reguladores del control de plagas, afectando la producción de los cultivos (FAO, 2021b). Estos riesgos seguirán incrementando a la par del aumento del calentamiento mundial, y provocarán repercusiones significativas en la disponibilidad de alimentos

Estrategias de adaptación al cambio climático para la industria de las frutas tropicales: una guía técnica para productores y exportadores de aguacate.

nutritivos (IPCC, 2022; FAO, 2021b). La pérdida de diversidad genética también reduce la disponibilidad de variación genética para mejorar los cultivos y volverlos resistentes al cambio climático; y el estrés biótico inducido por esta pérdida reduce la variedad de cultivos y ganado disponibles para suministrar una dieta saludable (FAO, 2021b).

Desde el panorama mundial, un resumen de los efectos observados del cambio climático en la agricultura incluye (IPCC, 2022):

- repercusiones negativas generales en la productividad agrícola con diferencias regionales;
- pérdida de cultivos relacionada con la sequía ha aumentado en los últimos años y ha afectado alrededor del 75 % de la superficie mundial cosechada;
- reducción de la seguridad alimentaria y del agua, especialmente para los grupos vulnerables;
- aumentos en la frecuencia e intensidad de sequías, inundaciones y olas de calor;
- disminución de la disponibilidad de agua;
- mayor presión de plagas y enfermedades;
- pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos (incluida la polinización); y
- riesgos futuros seguirán aumentando en el corto, mediano y largo plazo (2100).

Desde el punto de vista social, las repercusiones del cambio climático en la agricultura afectan de manera desproporcionada a las comunidades rurales vulnerables que dependen en gran medida de la agricultura para sus medios de vida. Las mujeres y los jóvenes se encuentran entre los más afectados debido a su acceso limitado a recursos y servicios; menor voz en la toma de decisiones relativas a la gestión de recursos naturales y servicios ambientales; menores dotaciones y derechos sobre la tierra, y opciones de movilidad limitadas para buscar oportunidades de subsistencia en otros lugares (FAO 2016, 2018a, 2019, 2022c). Todo esto repercute negativamente en la vida cotidiana de las familias, aumentando el riesgo de pobreza, inseguridad alimentaria y desnutrición, especialmente para las mujeres y las niñas (FAO, 2022b). Se necesitan medidas urgentes para corregir el desequilibrio de poder, concentrándose proactivamente en la inclusión de las personas vulnerables al cambio climático en la formulación de Planes Nacionales de Adaptación que reflejen sus deseos y necesidades. Al mismo tiempo, también se necesita inversión para desarrollar la capacidad de adaptación de estas poblaciones a las crisis relacionadas con el clima (FAO, 2018a, 2019b, 2021b).

El sector de las frutas tropicales corre un riesgo especial debido a los efectos negativos del cambio climático provocados por el aumento de las temperaturas, los fenómenos meteorológicos extremos (entre otros, los ciclones tropicales) y los desafíos conexos, como el estrés hídrico y el aumento de plagas y enfermedades. Todo ello plantea riesgos importantes para la sostenibilidad a largo plazo de la producción y el comercio de frutas tropicales importantes, incluido el aguacate.



La adaptación al cambio climático podría describirse como el proceso de ajuste a los cambios actuales o previstos en el clima y a sus efectos. Se lanzó un llamado urgente a la acción en el reciente informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (2022), que encontró que el progreso en la adaptación es desigual entre los países, con brechas cada vez mayores entre las acciones tomadas y lo que se necesita para hacer frente al creciente riesgo climático, sobre todo en los países de bajos ingresos. Las medidas que se tomen ahora pueden reducir la vulnerabilidad y la exposición a los efectos del cambio climático y pueden fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas para garantizar que estos no solo se recuperen después de las crisis climáticas, sino que también se transformen para estar mejor preparados para enfrentar las crisis y las tensiones futuras.

El sector agrícola también desempeña un papel fundamental en la mitigación de los efectos del cambio climático. Si bien se estima que en 2020, los sistemas agroalimentarios contribuyeron al 31 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), este sector también cuenta con algunas de las soluciones más importantes para cumplir los objetivos climáticos locales y mundiales (FAO, 2022f). Las medidas para restaurar y proteger los bosques y otros ecosistemas, preservar los suelos y los recursos hídricos, minimizar el uso de agroquímicos, reducir las pérdidas de alimentos, entre otras, pueden promover la adaptación, al tiempo que reducen las emisiones de GEI y almacenan carbono (FAO, 2019).

1.2 El cambio climático y sus efectos en la producción y el comercio mundial de las frutas tropicales

El clima desempeña una función importante en la determinación de la distribución de los cultivos de frutas perennes, la fenología, la calidad de la fruta y los brotes de plagas y enfermedades (Bhattacharjee *et al.*, 2022). Las características fisiológicas y del rendimiento de las frutas son sensibles a los efectos del cambio climático mundial y las etapas reproductivas de los árboles frutales son las más susceptibles al cambio climático, con implicaciones en la cantidad y la calidad de la producción de frutas. Los factores ambientales (como la temperatura, la sequía, la salinidad, las inundaciones, la alta concentración de dióxido de carbono y los brotes de plagas y enfermedades) tienen un impacto mayor en la producción de frutas, ya que estos factores tienen una correlación directa con las etapas fisiológicas regulatorias de los árboles frutales (Nath *et al.*, 2019; Sthapit, Ramanatha y Sthapit, 2012). Si bien los árboles frutales perennes tienen una serie de mecanismos de supervivencia que les permite hacer frente al estrés ambiental, estos conllevan un costo energético considerable que puede reducir la productividad de la fruta.

También es probable que los efectos del cambio climático sean más perjudiciales en los cultivos frutales perennes en comparación con los cultivos anuales, ya que la capacidad de adaptación de los cultivos de menor duración suele ser mayor que la de los cultivos perennes (Chawla *et al.*, 2021). En comparación con los cultivos anuales, el desarrollo de una nueva variedad de un árbol frutal puede llevarse entre 15 y 20 años, lo que hace más difícil competir con los desafíos que plantea el

cambio climático (Bhattacharjee *et al.*, 2022). El **Cuadro 1** resume algunos de los efectos comunes del cambio climático en la fenología de los cultivos frutales. Sin embargo, cabe señalar que los efectos del cambio climático dependen en gran medida tanto del cultivo de frutas analizado como de las condiciones agroclimáticas de un lugar en particular. Por ejemplo, un cultivo como el banano podría volverse menos adecuado si aumenta la temperatura y cambian las condiciones de lluvia; pero otros cultivos, como el coco y el mango, podrían volverse más productivos (Mitra, 2016). Por esta razón, se necesita más investigación longitudinal específica para productos y zonas, para comprender mejor los riesgos y los efectos provocados por el clima en los cultivos de frutas tropicales, las opciones de adaptación y las oportunidades de producción en nuevas zonas (Sthapit, Ramanatha y Sthapit, 2012).

Cuadro 1. Efectos del cambio climático en la fenología de los cultivos frutales

Efectos del cambio climático	Repercusiones en los cultivos frutales
Altas temperaturas y aumento de la radiación solar	<ul style="list-style-type: none">• mayor necesidad de evapotranspiración y riego; potencial de aumento de la salinidad del suelo;• afecta la floración: floración temprana o tardía, cuajado deficiente de frutos, yemas reproductivas se transforman en yemas vegetativas, cambios en el momento de madurez de los frutos;• perturbación en las poblaciones de polinizadores y las actividades de polinización;• daños por quemaduras solares en frutos y ramas, y agrietamiento de frutos;• el aumento de la temperatura del suelo puede acelerar la descomposición de la materia orgánica del suelo, produciendo el agotamiento de la fertilidad del suelo;• cambio de producción a nuevas zonas/traslado de la industria a otra zona; y• brotes de nuevas plagas y enfermedades.
Menor precipitación	<ul style="list-style-type: none">• el estrés antes o durante los períodos de floración y posfloración en las plantas frutales perennes repercute negativamente en los rendimientos, con un menor número de frutos y la reducción de las células de los frutos restantes;• caída de frutos y flores; y• necesidad de riego suplementario en la agricultura de secano.
Aumento de precipitaciones y de humedad	<ul style="list-style-type: none">• crecimiento vegetativo excesivo y caída de las flores;• las inundaciones matan a los microorganismos beneficiosos del suelo, aumentando el riesgo de enfermedades causadas por hongos patógenos (p.ej. <i>Phytophthora cinnamomi</i>, <i>Pythium</i> y <i>Fusarium</i>) y reduciendo la absorción de agua y de nutrientes;• aumento de plagas y enfermedades con ciclos reproductivos más rápidos;• presencia de nuevas plagas, o plagas menores que se convierten en plagas mayores;• mayor riesgo de erosión del suelo por escorrentías en las zonas de producción;• pérdidas de plantas y frutos; y• riesgo de contaminación de las masas de agua por la escorrentía de nutrientes.



Efectos del cambio climático	Repercusiones en los cultivos frutales
Menor temperatura y menor radiación solar	<ul style="list-style-type: none"> • puede afectar la floración, reduciendo la polinización, el cuajado, la retención y el tamaño de los frutos; y • las heladas afectan los botones florales y las flores, reduciendo el tamaño de los frutos.
Otros fenómenos climáticos extremos (ciclones, granizadas, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • pérdida de frutos y flores; • daños a árboles o plantas; y • daños a la infraestructura.
Aumento del CO₂	<ul style="list-style-type: none"> • Los efectos positivos del aumento de CO₂ en las plantas incluyen una reducción de la transpiración estomática y una mayor eficiencia en el uso del agua, tasas fotosintéticas más altas y una mayor eficiencia en el uso de la luz, produciendo un mayor potencial de cuajado y retención de frutos. • El aumento de la temperatura y un cambio en el patrón de lluvias pueden anular los efectos positivos y pueden ser necesarios mayores requerimientos de agua y nutrientes (fertilizantes nitrogenados) en condiciones de crecimiento con mayor CO₂.

Fuente: Elaboración de los autores con contenido adaptado de Bhattacharjee *et al.* (2022); Chawla *et al.* (2021); Nath *et al.* (2019); Mitra (2018); Fischer *et al.* (2016) y Sthapit *et al.* (2012).

Desde el punto de vista comercial, las frutas tropicales siguen estando entre los productos agrícolas de crecimiento más rápido. Estas frutas constituyen una fuente importante de crecimiento económico, ingresos, seguridad alimentaria y nutrición para los sectores rurales de muchos países en desarrollo. Su importancia en el suministro mundial de alimentos ha aumentado significativamente en las últimas décadas. Esto ha sido confirmado por la rápida expansión de los flujos comerciales mundiales que alcanzaron un total de 20,5 millones de toneladas de bananos en 2021 y 8,4 millones de toneladas de las cuatro principales frutas tropicales (mango, piña, aguacate y papaya) combinadas (UN Comtrade, 2023). El comercio mundial de las principales frutas tropicales aumentó en 6,8 % en 2021, alcanzando un volumen récord de 10 400 millones de USD en términos constantes durante el período 2014–16 (FAO, 2022d). El alto crecimiento de los ingresos en los países en desarrollo y una mayor conciencia de los beneficios nutricionales de las frutas tropicales en los países desarrollados, están contribuyendo al rápido crecimiento del consumo y la demanda positiva mundial de bananos y otras frutas tropicales (Altendorf, 2019, en FAO, 2019).

A medida que la industria crece en valor, los recursos naturales (que ya están bajo presión) enfrentarán una presión adicional por los efectos del cambio climático y la rápida propagación de enfermedades de las plantas, lo que amenaza con reducir la productividad (Liu, 2017). Los fenómenos meteorológicos adversos siguen obstaculizando significativamente la producción, sobre todo porque el cultivo de estas frutas se realiza en zonas tropicales vulnerables al clima donde se prevén fenómenos meteorológicos aún más extremos (IPCC, 2022). Los efectos del calentamiento mundial están provocando una mayor incidencia de sequías, inundaciones, huracanes y otros desastres naturales que aumentan el riesgo en la producción de frutas tropicales. Desde el punto de vista comercial, esto hace más difícil predecir la cantidad comercializable año tras año, y se vuelve más costoso dada la naturaleza perecedera

de las frutas tropicales, los insumos y la infraestructura necesarios para abastecer los mercados internacionales. Este desafío afecta toda la industria de exportación, ya que la mayoría de las frutas tropicales se produce en entornos remotos e informales, donde el cultivo depende en gran medida de las precipitaciones, está expuesto a los efectos adversos de fenómenos climáticos cada vez más erráticos y, en muchos casos, está desconectado de las principales rutas de transporte (FAO, 2022e).

Los exportadores más importantes de las principales frutas tropicales, incluido el aguacate, se concentran en América Latina y el Caribe (FAO, 2019b, 2022d). Desde esta región se envían grandes volúmenes de frutas tropicales, principalmente a los Estados Unidos de América y la Unión Europea, las principales regiones importadoras a nivel mundial. Sin embargo, la disponibilidad de productos para la exportación depende en gran medida de las condiciones climáticas estacionales de los países productores. En el futuro, el suministro de frutas y verduras frescas para los consumidores de los países desarrollados podría verse afectado como resultado de una excesiva dependencia de los países vulnerables al clima. Esto puede tener consecuencias potencialmente negativas para la disponibilidad, el precio y el consumo de frutas y hortalizas en países como el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, donde se estima que el 70 % de las frutas disponibles para la compra se importa de fuera de la Unión Europea (Frankowska, Jeswani y Azapagic, 2019). Por lo tanto, las interrupciones en el suministro de frutas, debido a los efectos del cambio climático en los países productores, tienen el potencial de afectar la ingesta dietética y la salud de los consumidores en los mercados importadores, particularmente de las personas mayores y los hogares de bajos ingresos (Scheelbeek *et al.*, 2020).

Asimismo, hoy día, muchos de los países que normalmente han exportado frutas tropicales en el pasado y que dependen de estas exportaciones para obtener ingresos externos y crear empleo están compitiendo con nuevos productores en los mercados de importación debido al calentamiento global. Los países que tenían un clima templado podrían tener cada vez más capacidad para producir estas frutas. Como resultado, es posible que los productores actuales de frutas tropicales necesiten explorar posibilidades de expandir sus mercados nacionales y regionales para reducir los riesgos asociados con la creciente competencia en los mercados internacionales por parte de países productores no tradicionales (Liu, 2017). Del mismo modo, los productores actuales pueden verse motivados a desafiar su frontera de posibilidades de producción expandiéndose a nuevas zonas de producción o cambiando de zonas en busca de condiciones agroclimáticas más adecuadas que garanticen la satisfacción continua las demandas del mercado. Estas prácticas también pueden agravar los riesgos climáticos, degradando los ecosistemas y los recursos naturales vitales (suelo, agua y bosques). Más específicamente, ¿qué significa todo esto para la producción y la exportación de aguacate?

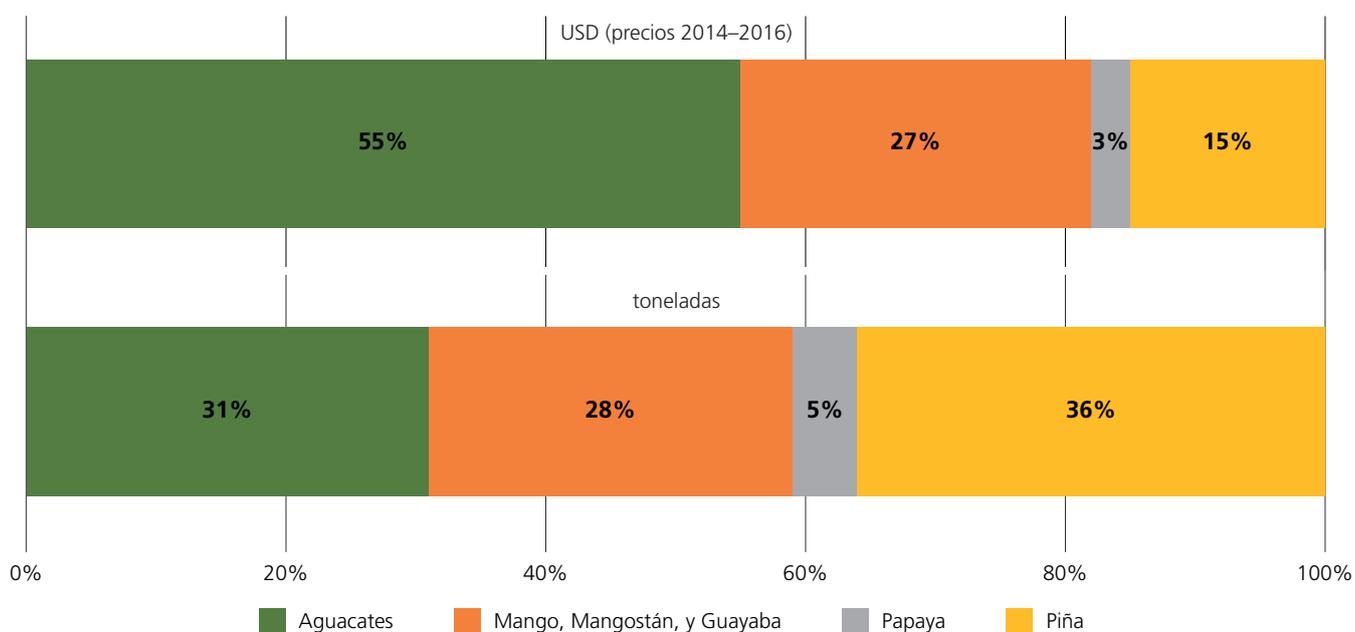
1.3 El aguacate como importante fruta tropical de exportación en riesgo de sufrir los efectos del cambio climático

La demanda mundial de las principales frutas tropicales sigue siendo fuerte a pesar de los importantes cuellos de botella en las cadenas de suministro globales y el aumento de los costos de los insumos y el transporte. La piña, el aguacate y el mango siguen siendo las tres frutas tropicales más comercializadas en términos de cantidades exportadas, después del banano.



Las exportaciones mundiales de aguacate aumentaron un 9,7 %, pasando a 2,5 millones de toneladas en 2021, alcanzando un máximo histórico. El aguacate es la segunda fruta tropical más popular para la exportación después de la piña; sin embargo, en términos de valor, representa más del 50 % del comercio mundial de las principales frutas tropicales, debido al valor unitario promedio de exportación significativamente más alto (**Figura 1**). Por el lado de la demanda, los envíos mundiales de aguacate a los Estados Unidos de América y la Unión Europea están siendo impulsados por una mayor sensibilidad de los consumidores sobre la salud y los beneficios nutricionales del aguacate, alentada por campañas publicitarias a nivel nacional y minorista para aumentar el consumo. Esta estrategia se ha demostrado particularmente eficaz para incrementar la demanda de aguacate, a pesar del aumento de los costos de producción, transporte y comercialización en toda la cadena de valor (FAO, 2022e).

Figura 1. Principales frutas tropicales: proporciones del volumen de exportación por tipo, 2022, medido en miles de millones de USD, dólar constante (2014–16) y toneladas



Fuente: **FAO**. 2023a. *Análisis del mercado de las principales frutas tropicales. Resultados preliminares 2022*. Roma.

En este contexto de fuerte demanda internacional de aguacate, en el **Capítulo 2** se analizan las tendencias climáticas que enfrentan los principales países productores y exportadores de aguacate a nivel mundial. Los efectos del cambio climático previstos para las próximas décadas sugieren que es probable que la producción se vuelva más difícil en el futuro, especialmente si no se adoptan urgentemente medidas de adaptación y mitigación en los años venideros. En muchos países, la producción ya está sufriendo los efectos negativos del cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos. Por ejemplo, en 2020, las graves condiciones de sequía sufridas en el centro de Chile dificultaron las exportaciones de aguacate y, de manera similar, una persistente ola de calor y escasez de agua en Israel redujeron la cantidad y la calidad de las cosechas de aguacate

del país disminuyendo las exportaciones casi un 50 % en comparación con 2019 (FAO, 2021e). En los últimos años, los fenómenos meteorológicos extremos más frecuentes, como las tormentas de granizo, también han dañado gravemente las cosechas de aguacate disponibles para la exportación en países como México y Sudáfrica (FAO, 2020).

Los resultados preliminares para 2022 sugieren que es probable que el volumen del comercio mundial de las principales frutas tropicales caiga a 9 900 millones de USD en dólares constantes de 2014–16, representando una contracción del 5 % con respecto a 2021 (FAO, 2023a). Esta constituiría la primera contracción significativa del comercio en el mercado mundial de frutas tropicales. Los datos preliminares indican que la escasez de suministros mundiales asociada con el clima adverso, los persistentes cuellos de botella en las cadenas mundiales de suministro y los altos costos de los insumos y el transporte, han contribuido a esta contracción. En el caso del aguacate, las condiciones climáticas adversas, en particular temperaturas más frías de lo normal, provocaron una contracción de la producción en varias de las principales zonas de producción de frutas tropicales, en particular una fuerte caída en la oferta de aguacate de México (FAO, 2023a). El fortalecimiento de la sostenibilidad y la resiliencia de las cadenas de valor de las frutas tropicales ante las crisis ambientales, económicas y sociales nunca ha sido más importante para garantizar la producción y el comercio de estos importantes productos.

1.4 El Proyecto de Frutas Responsables y la Estrategia de la FAO sobre el cambio climático

La preparación de esta guía técnica es un producto del **Proyecto de Frutas Responsables**. En 2019, la División de Mercados y Comercio (EST) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) lanzó un proyecto mundial titulado “*Creación de cadenas de valor mundiales responsables para frutas tropicales sostenibles*” (conocido como Proyecto de Frutas Responsables). Este proyecto colabora con empresas, organizaciones de agricultores y otros actores de la cadena de valor de la piña, con el objetivo de mejorar el desempeño empresarial, ayudando a que estas dos cadenas de valor sean más sostenibles y resilientes. El proyecto se basa en más de una década de experiencia de colaboración de la FAO con el sector privado en materia de frutas tropicales⁴. El resultado de este proyecto será la conformación de una red de empresas comprometidas para mejorar su resiliencia y los efectos ambientales, sociales y económicos de sus operaciones y las de sus proveedores.

Este proyecto se propone ayudar a las empresas que operan en las cadenas de suministro de aguacate a establecer o consolidar sus sistemas de debida diligencia basados en riesgos para que

⁴ Esto incluye la facilitación del Foro Mundial Bananero, la principal plataforma multiactor del sector bananero que trabaja con más de 30 empresas y asociaciones agroalimentarias líderes de la industria en la aplicación de las recomendaciones de debida diligencia basada en riesgos de la Guía OCDE-FAO para las cadenas de suministro responsable en el sector agrícola.



sus operaciones sean más sostenibles y resilientes a las crisis. También proporciona un entorno confidencial para el aprendizaje entre pares sobre cuestiones precompetitivas, a través de seminarios web para el aprendizaje entre pares y otros eventos de intercambio de conocimientos y desarrollo de capacidades. Esta guía forma parte de una serie de guías⁵ desarrolladas por el proyecto con base en la demanda de los participantes del proyecto y centradas en responder a los desafíos técnicos específicos determinados por ellos.

Una encuesta de referencia realizada por el proyecto en 2021 destacó las repercusiones del cambio climático como el principal desafío de sostenibilidad que enfrentan las empresas aguacateras. Este hallazgo se confirmó aún más en 2022, cuando el proyecto realizó una encuesta en línea sobre resiliencia y pidió a las empresas aguacateras que identificaran los principales problemas que aumentaban la susceptibilidad de sus operaciones a los efectos externos. Los actores de la cadena de valor del aguacate consideraron que los factores ambientales y climáticos eran los principales impulsores de la vulnerabilidad en sus negocios (el 75 % de los actores encuestados). Sobre esta base, se seleccionó el tema de la adaptación al cambio climático, en colaboración con los participantes del proyecto, como un tema adecuado para la segunda esta técnica producida por el proyecto.

Esta guía está alineada con la Estrategia de la FAO sobre el cambio climático (FAO, 2022c), que se centra en mejorar las capacidades para implementar las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN) en el marco del Acuerdo de París⁶. La Estrategia ayuda a los países a adaptarse al cambio climático y a mitigar sus efectos a través de programas y proyectos basados en investigaciones, orientados a adaptar la producción de los pequeños agricultores y hacer que los medios de vida de las poblaciones rurales sean más resilientes. La Estrategia pasa de una respuesta reactiva a las crisis a un enfoque de prevención y anticipación de manera proactiva, apoyando a las personas antes, durante y después de las crisis. La Estrategia se enfoca en a) dar un papel central a los agricultores y otras comunidades dependientes de la agricultura en el desarrollo de estrategias de adaptación, b) fomentar la integración horizontal y vertical y c) promover un cambio transformador. Al implementar esta estrategia, la FAO tiene como objetivo apoyar a los esfuerzos de sus Miembros para implementar prácticas de adaptación al cambio climático y de mitigación de sus efectos, al tiempo que se trabaja para lograr sistemas agroalimentarios resilientes al clima y bajos en emisiones, esforzándose por alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular la erradicación del hambre y la desnutrición. Como se señaló anteriormente, las frutas tropicales desempeñan un papel importante en una dieta saludable. Esta guía tiene como objetivo contribuir a esta Estrategia a través de la sensibilización de los productores y exportadores de aguacate en cuanto a los riesgos relacionados con el clima, y compartiendo estrategias de adaptación, como se describe a continuación.

⁵ Ya está disponible la primera guía técnica titulada Análisis de brechas para apoyar la debida diligencia en los sectores del aguacate y la piña.

⁶ Este acuerdo exhorta a cada una de las Partes a describir y comunicar sus acciones climáticas posteriores a 2020 para reducir las emisiones de GEI y adaptarse a los efectos del cambio climático, a través de sus CDN.

1.5 ¿Cuál es el propósito de la guía y a quién va dirigida?

El propósito de esta guía técnica es:

- proporcionar información actualizada sobre los efectos del cambio climático y sus tendencias, actuales y previstas, en los principales países productores y exportadores de aguacate;
- identificar los riesgos y las repercusiones del cambio climático en la producción y el comercio de aguacate;
- identificar prácticas de adaptación y recomendaciones que puedan contribuir a afrontar estos riesgos, minimizar los efectos negativos y fortalecer la resiliencia;
- compartir las buenas prácticas adoptadas por las empresas para afrontar, de manera sostenible, riesgos de producción específicos relacionados con el clima; y
- identificar lagunas en la información y la investigación, además de las soluciones técnicas necesarias para consolidar la disponibilidad de las prácticas de adaptación y su adopción.

Esta guía está dirigida a aquellos productores y exportadores de aguacate que estén interesados en aprender más sobre el cambio climático en el contexto de sus propios sistemas comerciales. Se prevé que, para muchos productores y exportadores, esta guía puede ser un punto de partida para estimular el debate y la investigación futura sobre los efectos del cambio climático a nivel nacional y regional en la producción de aguacate y para la planificación conjunta de soluciones de adaptación que apoyen la sostenibilidad a largo plazo de la industria exportadora. Si bien la guía se centra en la adaptación, cabe señalar que los esfuerzos de adaptación y mitigación para reducir las emisiones de GEI van de la mano, y las estrategias de mitigación también pueden diseñarse de manera que contribuyan a la adaptación y la refuercen. Por ejemplo, las estrategias para enriquecer el contenido de carbono en los suelos agrícolas tienen el potencial de generar importantes resultados de mitigación mientras que los suelos que tienen un contenido mayor de carbono orgánico a través de la reducción de la labranza, la erosión y del uso de productos químicos también mejoran la producción y la rentabilidad de los cultivos (Scherr y Sthapit, 2009 en Bioversity, 2014).

Las prácticas seleccionadas también están alineadas con el trabajo de la FAO en materia de sostenibilidad, al promover técnicas, tecnologías y acciones que permiten la transformación de las cadenas de valor hacia prácticas ecológicas y resilientes al clima. Entre otras prácticas se incluyen: **agroecología, agricultura climáticamente inteligente, agricultura de conservación y agricultura digital.**



1.6 Metodología y limitaciones de la guía

La preparación de esta guía se realizó a través de un proceso de consulta con las empresas aguacateras que participan en el Proyecto de Frutas Responsables. En junio de 2022, el proyecto realizó un **seminario web** para presentar el tema y discutir el significado del cambio climático para la industria del aguacate. Las empresas compartieron sus experiencias sobre los efectos recientes del cambio climático en sus sistemas de producción, durante una sesión de panel, seguida de una sesión de discusión. Se presentó y se aprobó el propósito de la guía, y se invitó a los participantes a registrar su interés en unirse a un grupo de trabajo de adaptación al cambio climático para desarrollar la guía. El grupo de trabajo realizó cuatro reuniones en línea para apoyar la guía:

- **Primera reunión**, el 13 de octubre de 2022, con participantes de América Latina sobre cambio climático y riesgos en la producción.
- **Segunda reunión**, el 24 de noviembre de 2022, con participantes de Asia en asociación con la Red Internacional sobre Frutas Tropicales (TFNet por sus siglas en inglés) para identificar riesgos climáticos y prácticas de adaptación para la producción de piña.
- **Tercera reunión**, el 30 de noviembre de 2022, con participantes de América Latina sobre validación de prácticas de adaptación.
- **Cuarta reunión**, el 13 de abril de 2023, para presentar el proyecto de la guía y validar los borradores de los capítulos 4 y 6 sobre prácticas de adaptación con todos los participantes involucrados en el Proyecto de Frutas Responsables.

Además de las aportaciones de los miembros del grupo de trabajo, la redacción de la guía se apoyó de entrevistas a miembros de empresas individuales, instituciones de investigación y puntos focales sobre el cambio climático de las Oficinas en el país de la FAO en regiones y países donde la producción y la exportación de aguacate son importantes. Estas entrevistas ayudaron a desarrollar los ejemplos de prácticas de adaptación de las empresas que se ilustran en el **Capítulo 4** y a determinar proyectos y resultados de investigación pertinentes producidos por las oficinas nacionales de la FAO o investigadores que colaboran con la oficinas. También se realizó una revisión exhaustiva de la literatura que abarcó publicaciones de la FAO sobre cambio climático, informes de agencias internacionales que trabajan en cambio climático (por ejemplo, el IPCC, el Banco Mundial, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], el Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT]), revistas científicas sobre prácticas agronómicas y los efectos del cambio climático en la producción de frutas tropicales en general, y la producción de aguacate en particular.

Qué es y qué no es la guía: algunas limitaciones

Las limitaciones de la guía se discutieron con los participantes en las reuniones del grupo de trabajo. Considerando el plazo reducido para su preparación y del carácter mundial del Proyecto de Frutas Responsables, no fue posible realizar una investigación científica longitudinal sobre el terreno que podría ser necesaria para responder a cuestiones específicas relacionadas con los efectos del cambio climático, en el tiempo, en el aguacate bajo diversas condiciones de producción. Sobre esta base, este documento no pretende ser una guía científica integral que ofrece soluciones de adaptación adecuadas para todos los contextos. Más bien, su objetivo es destacar los riesgos y desafíos relacionados con el clima que enfrentan los productores en algunos países, y las soluciones de adaptación que están probando para minimizar los riesgos futuros. Se ha realizado una revisión adicional de la literatura científica para validar aún más las prácticas de adaptación identificadas por las empresas. La guía también reconoce que los esfuerzos de adaptación requieren la colaboración entre diferentes actores estatales y no estatales para ser duraderos en el tiempo.

1.7 Estructura de la guía

El **Capítulo 1** presenta los antecedentes de la guía y analiza las repercusiones del cambio climático en la agricultura y en la producción mundial de frutas tropicales. También explica el propósito y las limitaciones de la guía.

El **Capítulo 2** explica el alcance de la guía, incluidos los países seleccionados para una mayor investigación sobre los efectos del cambio climático en la producción de aguacate; las tendencias climáticas que afectan a estos países; y una breve descripción de algunas de las experiencias de los países, hasta la fecha, en la preparación de sus Planes Nacionales de Adaptación para el sector agrícola.

El **Capítulo 3** introduce los riesgos climáticos que enfrenta la producción de aguacate en una variedad de países y se discute las repercusiones de estos riesgos en la producción.

El **Capítulo 4** presenta y discute estrategias de adaptación al cambio climático para la producción de aguacate.

El **Capítulo 5** analiza algunos de los desafíos en la identificación de riesgos climáticos y soluciones de adaptación, e identifica lagunas en la información y la investigación y soluciones técnicas que deben abordarse para fortalecer la disponibilidad de prácticas de adaptación y su adopción.

El **Anexo 1** proporciona una lista de recursos adicionales que podrían ser útiles para aquellas empresas interesadas en aprender más sobre el cambio climático y sus efectos en la agricultura, las frutas tropicales y las opciones de adaptación.

Capítulo 2.

Alcance de la guía



Como se discutió en el **Capítulo 1**, el cambio climático está afectando de manera diferente a los países y regiones y, por tanto, para que una guía sobre adaptación sea significativa, se requiere más investigación sobre las tendencias climáticas específicas en cada país y las estrategias nacionales de adaptación. Considerando el enfoque mundial del Proyecto de Frutas Responsables en la **producción y el comercio sostenibles** de aguacate, la selección de los países para una mayor investigación, en esta guía, ha sido orientada por su importancia relativa en la **producción y exportación mundial** como una fuente importante de ingresos externos y de empleo. Sobre esta base, se seleccionaron seis países productores y exportadores de aguacate para realizar un análisis más profundo, como se detalla a continuación.

Cabe señalar que la producción de ambos cultivos en otros grandes países productores que no fueron seleccionados, como Indonesia y la República Dominicana, también sufrirá las consecuencias del cambio climático en el futuro. Esto puede dar lugar a una menor disponibilidad del producto para los consumidores nacionales como principal mercado para su producción, o a un exceso de oferta, dependiendo de las fluctuaciones de las condiciones climáticas de un año a otro. Por lo tanto, la guía también puede ser de interés para los productores de aquellos países que enfrentan amenazas climáticas similares, independientemente de su participación en el sector de la exportación.

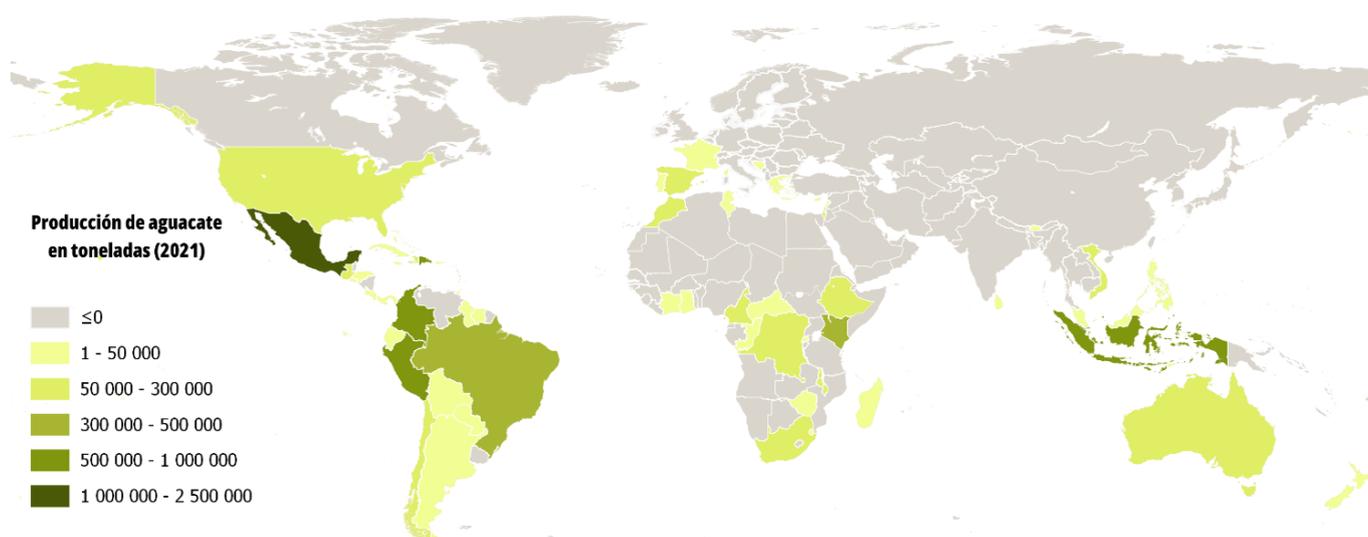
2.1 Producción y exportación de aguacate

2.1.1 Producción mundial de aguacate

Según FAOSTAT, la Base de datos estadísticos sustantivos de la Organización, el aguacate se produce en más de 60 países de todo el mundo. La producción mundial de aguacate ha aumentado rápidamente en las últimas dos décadas, de aproximadamente 2,9 millones de toneladas en 2002 a 8,7 millones de toneladas en 2021, representando un índice de crecimiento anual promedio de casi el 10 %. Como se analiza en el **Capítulo 1**, gran parte de este crecimiento en la producción ha sido impulsada por mayores ingresos y una mayor sensibilización sobre las dietas saludables, con un consumo creciente de aguacate en los mercados nacionales y de exportación.

En la **Figura 2**, se puede apreciar que la producción de aguacate está altamente concentrada en la región de América Latina y el Caribe. En 2021, casi el 70 % de la producción mundial provino de esa región. México es el principal productor, representando el 28 % de la producción mundial, y otros productores importantes de la región incluyen: Colombia con el 11 %, el Perú con el 9 % y la República Dominicana con el 7 % (FAO, 2023b). Otros grandes productores mundiales fuera de la región incluyen Indonesia, donde la producción se destina únicamente al mercado interno, y Kenya, donde la producción ha crecido para satisfacer la importante demanda de importación, principalmente en la Unión Europea.

Figura 2. Mapa de la distribución mundial de la producción de aguacate



Fuente: Elaboración de los autores basada en **FAO**. 2023. FAOSTAT: Cultivos. En: FAO. Roma. [Consultado el 21 de marzo de 2023]. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.

2.1.2 Comercio mundial de aguacate

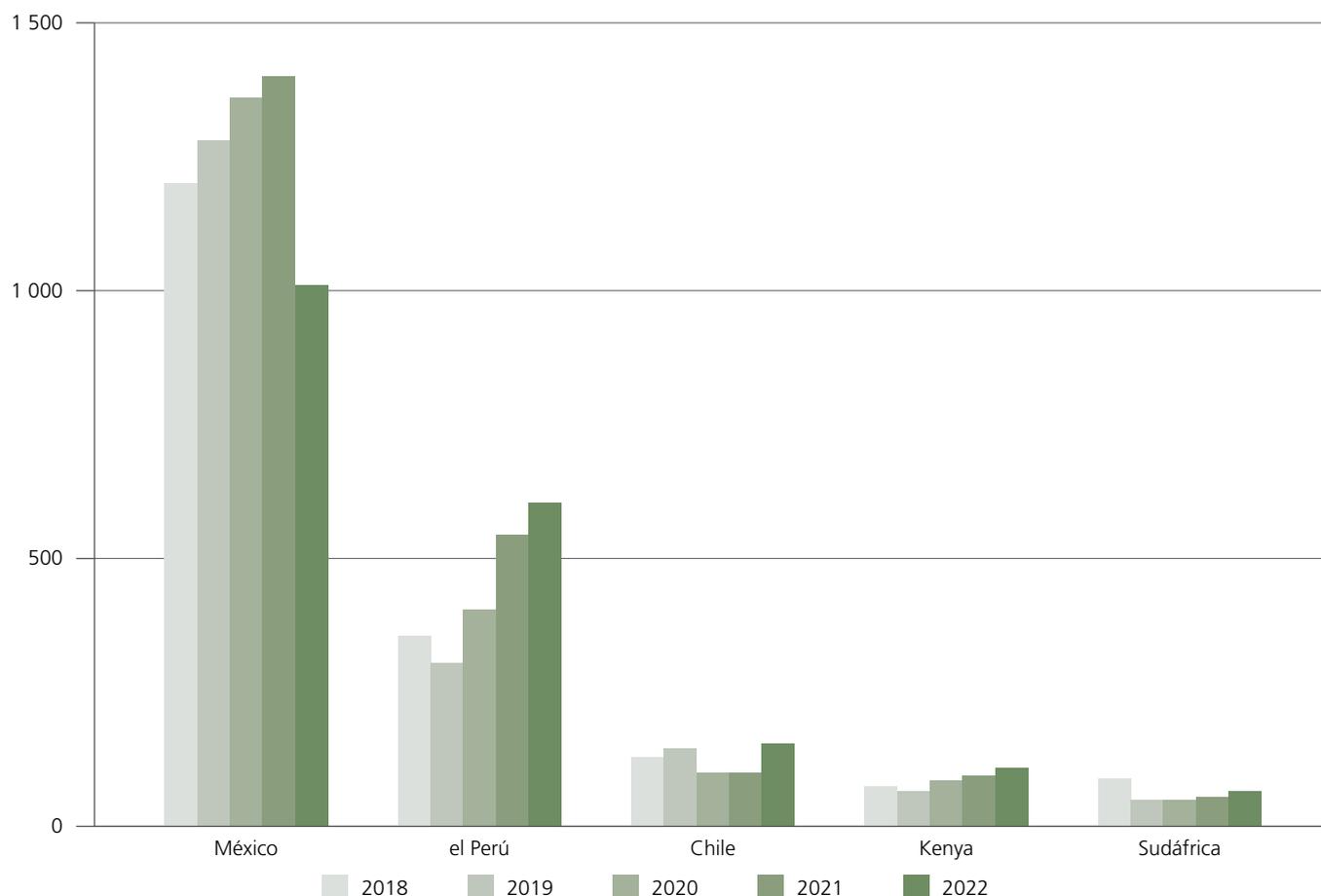
En 2021, las exportaciones mundiales de aguacate alcanzaron un máximo histórico de 2,5 millones de toneladas (FAO, 2022e). México, principal productor mundial de aguacate Hass, la variedad preferida por el mercado, exportó aproximadamente 1,4 millones de toneladas, representando un 56 % del total de exportaciones, seguido por el Perú, con 542 000 toneladas o el 22 % de las exportaciones mundiales (FAO, 2022d). Sin embargo, en 2022, se espera que las exportaciones mundiales de aguacate disminuyan aproximadamente un 6 %, a menos de 2,4 millones de toneladas, debido principalmente a una grave escasez de la oferta provocada por el clima en México (FAO, 2023a).

El principal mercado para las exportaciones mexicanas son los Estados Unidos de América, que absorbieron el 93 % del total de las exportaciones en 2021. En el caso del Perú, los principales mercados de destino son más diversos, aunque aproximadamente el 46 % de las exportaciones tiene como destino la Unión Europea (FAO, 2022d). La **Figura 3** ilustra los cinco principales exportadores



durante el quinquenio 2018–2022 y sus respectivas cantidades (datos preliminares para 2022). Colombia es también uno de los productores y exportadores de aguacate de más rápido crecimiento, con un aumento de sus exportaciones en un 500 %, que pasaron de 18 727 toneladas en 2017 a 95 773 toneladas en 2021, lo que convierte a este país en el cuarto principal exportador de aguacate en 2021, después de Chile (sobrepasando a Kenya).

Figura 3. Cantidades de exportación de aguacate de los principales exportadores 2018–2022, datos preliminares para 2022



Fuente: FAO. 2023. Análisis del mercado de las principales frutas tropicales. Resultados preliminares 2022. Roma.

2.1.3 Selección de países para la guía

Sobre la base en las discusiones mencionadas, se seleccionaron seis países para una mayor investigación de los efectos del cambio climático y las estrategias de adaptación: **México, el Perú, Chile, Colombia, Kenya y Sudáfrica**. Sin embargo, en la medida de lo posible, también se consultó y se integró literatura científica relevante de otras naciones productoras de aguacate para identificar soluciones de adaptación innovadoras, con hallazgos útiles provenientes de países como Australia, España, Israel, Marruecos y Nueva Zelandia.

2.2 Tendencias climáticas que afectan a los principales países productores y exportadores

Como se discutió en el **Capítulo 1**, las frutas tropicales son muy sensibles a cambios en los factores ambientales, incluida la temperatura y la precipitación, que tienen una correlación directa con las etapas fisiológicas reguladoras de los árboles frutales. La calidad y la cantidad de la producción de aguacate pueden verse afectadas negativamente por el aumento de las temperaturas y los cambios en las precipitaciones (por ejemplo, reducción de la disponibilidad de agua o lluvias excesivas) asociados con el cambio climático. Esta sección proporciona información de alto nivel sobre las tendencias climáticas de referencia a nivel de país asociadas con la temperatura y las precipitaciones. También proporciona información sobre proyecciones futuras según datos de los Perfiles de países sobre riesgo climático, del Banco Mundial y datos generales a nivel de país disponibles en el Portal de conocimientos sobre el cambio climático, del Banco Mundial. Los riesgos climáticos específicos identificados por los productores y las empresas aguacateras que participan en el Proyecto de Frutas Responsables se analizan en detalle en el **Capítulo 3** (Riesgos climáticos que enfrenta la producción de aguacate).

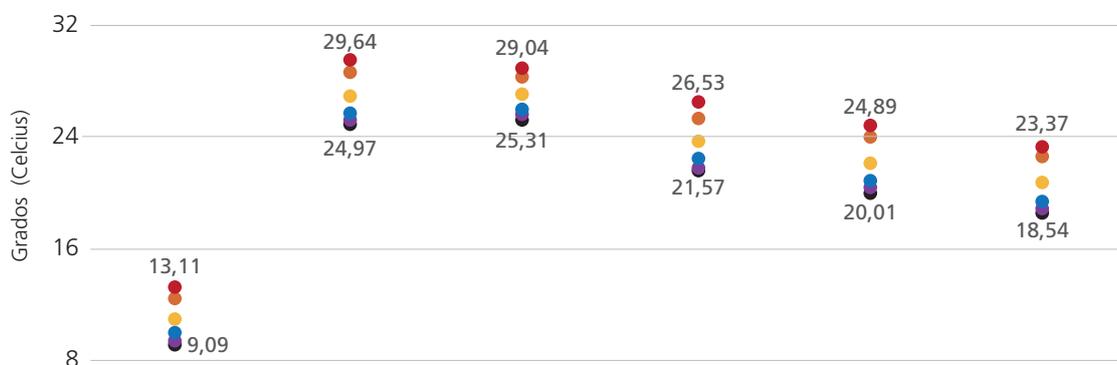
2.2.1 Tendencias climáticas asociadas a la temperatura

Según el Banco Mundial, las temperaturas promedio en todos los principales países productores de aguacate seleccionados en esta guía aumentarán en los cinco escenarios de emisiones modelados bajo el cambio climático (**Figura 4**)⁷. Por ejemplo, considerando un escenario intermedio (SSP2-4,5), donde las emisiones de CO₂ comienzan a disminuir después del 2050, se prevé un aumento de temperatura de 2,20 °C en Sudáfrica entre 2014 y 2100. México (2,16 °C), el Perú (2,14 °C) y Colombia (2,04 °C) siguen de cerca estas tendencias. Se prevé que Chile y Kenya experimenten un incremento de las temperaturas de 1,76 y 1,80 °C, respectivamente, para finales de siglo. Considerando un escenario más pesimista (SSP5-8,5), se prevé que las temperaturas en los seis países superen los 3,7 °C para 2100.

⁷ El Banco Mundial estimó las temperaturas medias futuras hasta 2100 utilizando cinco posibles escenarios futuros que consideran los niveles de emisiones y el modelo de trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP). Cada escenario analiza las emisiones, los esfuerzos de mitigación y el desarrollo de los países, utilizando las temperaturas promedio entre 1995 y 2014 como período de referencia. Estos modelos son SSP1-1,9: Escenario más optimista que describe un mundo donde las emisiones globales de CO₂ se reducen a cero neto para 2050. SSP1-2,6: El cero neto se alcanza después de 2050 y las temperaturas se estabilizan alrededor de 1,8 °C más alto para 2100. SSP2-4,5: Las emisiones de CO₂ comienzan a disminuir después de 2050 y no llegan a cero neto hasta 2100. El progreso hacia la sostenibilidad es lento, con un desarrollo y un crecimiento desiguales de los ingresos; y las temperaturas aumentan 2,7 °C para 2100. SSP3-7,0: Las emisiones de CO₂ aproximadamente se duplicarán con respecto a los niveles actuales para 2100 y las temperaturas aumentarán 3,6 °C para 2100. SSP5-8,5: Los niveles actuales de emisiones de CO₂ casi se duplicarán para 2050. La economía mundial crecerá rápidamente dependiendo de los combustibles fósiles y llevando estilos de vida a alto consumo de energía; la temperatura media mundial será 4,4 °C más alta.



Figura 4. Temperaturas medias proyectadas para 2100, por modelo SSP y país productor de aguacate



	Chile	Colombia	Kenya	México	el Perú	Sudáfrica
● Periodo de referencia (1995–2014)	9,09	24,97	25,31	21,57	20,01	18,54
● SSP1-1,9	9,24	25,30	25,62	21,75	20,42	18,89
● SSP1-2,6	9,78	25,75	26	22,44	20,87	19,32
● SSP2-4,5	10,85	27,00	27,11	23,73	22,15	20,74
● SSP3-7,0	12,33	28,72	28,38	25,34	24,06	22,60
● SSP5-8,5	13,11	29,64	29,04	26,53	24,89	23,37

Nota: La gran diversidad climática de Chile entre regiones –desde la tropical en el norte, la mediterránea en el centro y la antártica (oceánica antiboreal) en el sur– sesga las temperaturas promedio a la baja, como se muestra en la figura y en comparación con otros países.

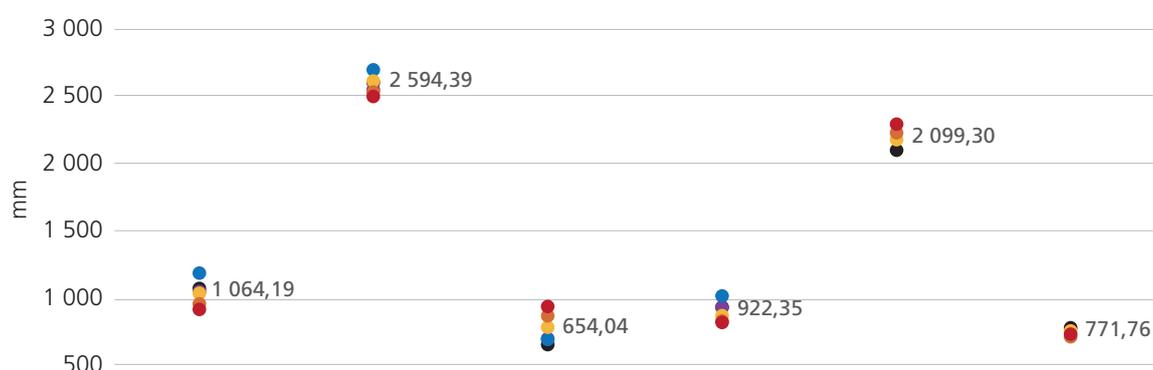
Fuente: Elaboración de los autores con datos del **Banco Mundial**. 2022. Portal de conocimientos sobre el cambio climático para profesionales del desarrollo y responsables de la formulación de políticas. En: Grupo del Banco Mundial [en línea]. Washington. [Consultado el 7 de octubre de 2022]. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org>.

Según el IPCC, un aumento de 2 grados producirá condiciones meteorológicas extremas más frecuentes e intensas (aumento de las sequías, fuertes lluvias y granizadas), la extinción de algunos animales y plantas, y pondrá en riesgo la producción de algunos productos agrícolas (IPCC, 2021).

2.2.2 Tendencias climáticas asociadas a precipitación

La variabilidad de las precipitaciones (distribución, frecuencia y cantidad durante el año) y los cambios de largo plazo tienen efectos diferenciados sobre la producción de aguacate, dependiendo de si se experimenta déficit o exceso hídrico en etapas específicas del desarrollo de la planta. A diferencia de las tendencias en la temperatura, los patrones de precipitación futuros no muestran una tendencia clara y varían según la región y el país productor (**Figura 5**).

Figura 5. Precipitación media proyectada para 2100, período de referencia 1995–2014, para los países productores de aguacate

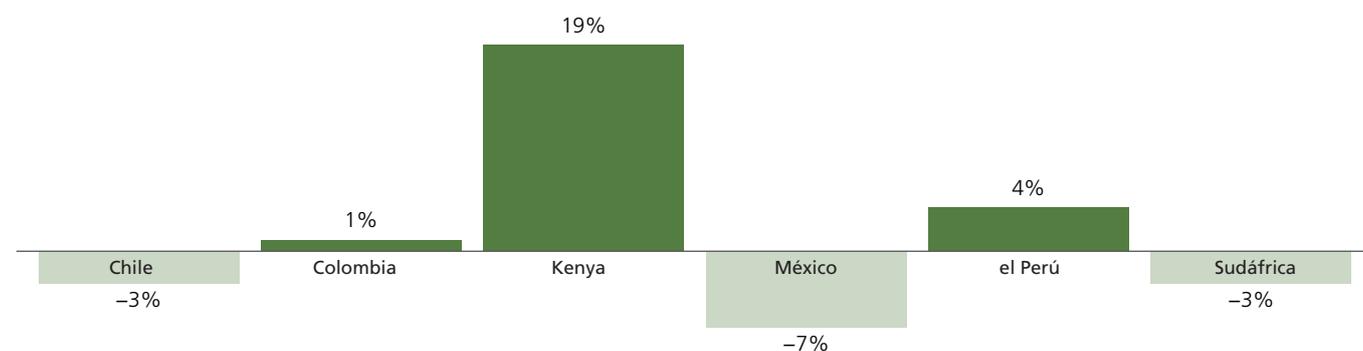


	Chile	Colombia	Kenya	México	el Perú	Sudáfrica
● Período de referencia (1995–2014)	1 064,19	2 594,39	654,04	922,35	2 099,30	771,76
● SSP1-1,9	1 188,87	2 699,55	772,84	1 018,45	2 197,95	740,87
● SSP1-2,6	1 047,88	2 603,19	688,57	932,50	2 175,77	742,59
● SSP2-4,5	1 031,69	2 613,60	778,99	861,87	2 188,58	748,48
● SSP3-7,0	955,03	2 535,86	866,46	824,07	2 228,75	711,37
● SSP5-8,5	912,57	2 503,00	933,61	815,16	2 295,73	731,27

Fuente: Elaboración de los autores con datos del **Banco Mundial**. 2022. Portal de conocimientos sobre el cambio climático para profesionales del desarrollo y responsables de la formulación de políticas. En: Grupo del Banco Mundial [en línea]. Washington. [Consultado el 7 de julio de 2021]. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org>.

Para los países productores de aguacate se prevén aumentos de las precipitaciones en Colombia, Kenya y el Perú para 2100, considerando el escenario SSP2-4,5. Se prevé que Kenya experimente el mayor aumento en las precipitaciones con un 19 %, seguido por el Perú (4 %) y Colombia (1 %). También se pronostica que México experimente la mayor disminución de las precipitaciones en aproximadamente 7 % para finales de siglo, seguido de Chile y Sudáfrica (3 % cada uno) (**Figura 6**).

Figura 6. Porcentaje de cambio de precipitación para 2100 utilizando el modelo SSP2-4,5, en países productores de aguacate



Fuente: Elaboración de los autores.



Para ampliar más las tendencias climáticas discutidas anteriormente desde una perspectiva nacional, el **Cuadro 2** resume la línea de base climática y las proyecciones de las tendencias futuras en temperatura y precipitación que afectarán a los países productores de aguacate seleccionados, según los datos y perfiles de países de riesgo climático del Banco Mundial para 2021 (Banco Mundial, 2022). Cabe señalar que estas tendencias se informan principalmente a nivel nacional, lo que puede o no explicar las diferencias microclimáticas regionales y locales en las principales zonas productoras. Se toma como referencia la información sobre las zonas productoras de aguacate⁸ en estos países. Los riesgos climáticos localizados e identificados por los productores que participan en el Proyecto de Frutas Responsables se analizan en el **Capítulo 3**.

Cuadro 2. Panorama general de las tendencias en temperatura y precipitación conexas al cambio climático en los países productores de aguacate seleccionados

País	Proyecciones de temperatura	Proyecciones de precipitación
México	<p>México tiene la superficie de cultivo de aguacate más grande del mundo. La producción para exportación se realiza en el estado de Michoacán (75 % de la zona plantada) y el estado contiguo de Jalisco (15 %), ambos ubicados a lo largo de la costa del Pacífico (HAB, 2019a).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se prevén aumentos de temperatura entre 2,5 y 3,5 °C para 2100. Se pronostica un incremento de 4 °C en la temperatura promedio en la zona norte del país. • En Michoacán se proyecta el aumento de la temperatura promedio de 1,4 °C para 2100, considerando un escenario moderado, y de hasta 4,7 °C en un escenario pesimista (INECC, 2021). En Jalisco, se pronostica que las temperaturas incrementarán en promedio 3,7 °C para 2100 en un escenario medio; y de 4,8 °C en el escenario pesimista. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pronostica una reducción de las precipitaciones en un promedio del 5 al 10 % (entre 22 y 45 mm menos por mes). • Se prevé que la mayor parte del país se vuelva más seca y experimente sequías más frecuentes. • Los estados de la costa nordoriental del Pacífico y las regiones de la costa del Atlántico norte sufrirán un aumento en las precipitaciones, asociado con un mayor número e intensidad de ciclones. Esto irá acompañado de un mayor riesgo de inundaciones y deslizamientos del terreno, especialmente en las tierras bajas, las cuales que ya se están experimentando en Michoacán y Jalisco.

⁸ La información sobre las zonas de producción de aguacate se obtuvo principalmente de los informes de perfil de país de la Junta de Aguacate Hass (HAB), cuando estaban disponibles: <https://hassavocadoboard.com/types/country-profile>.

Estrategias de adaptación al cambio climático para la industria de las frutas tropicales: una guía técnica para productores y exportadores de aguacate.

País	Proyecciones de temperatura	Proyecciones de precipitación
El Perú	<p>La producción de aguacate se concentra principalmente en la franja costera seca de 2 000 km, desde Chiclayo en el norte hasta Arequipa en el sur (HAB, 2019b).</p> <ul style="list-style-type: none"> Se prevé un aumento promedio de la temperatura entre 2 y 6 °C, respectivamente, para escenarios de emisiones medias y altas en el período 2036–2065. Los modelos indican que el aumento de las temperaturas mínimas será mayor que el de las máximas en ambos escenarios. Es probable que los eventos de La Niña sigan teniendo una tendencia creciente en el futuro. 	<p>Desde 1970, el Perú ha perdido más del 40 % de su superficie glaciar, afectando los niveles de los ríos que se alimentan de los glaciares. Se prevé una disminución en la escorrentía promedio en los ríos de la Sierra y la Selva de hasta un -52 %, en escenarios de emisiones medias y altas. Se prevé que los ríos de la región de la Costa sean más caudalosos (hasta un 1 000 % en un mes).</p> <ul style="list-style-type: none"> El fenómeno del Niño aumentará la incidencia de inundaciones y sequías en las regiones de la Costa y la Sierra, respectivamente, y creará las condiciones para el brote de plagas tanto en zonas secas como húmedas.
Chile	<p>El aguacate se produce tanto en la zona costera como en la zona interna, y la producción se concentra en la parte central del país, en aproximadamente 500 km entre Vicuña en el norte (centro-norte de la IV Región) y Peumo (norte de la VI Región) (HAB, 2020).</p> <ul style="list-style-type: none"> Se prevé un aumento en las temperaturas medias anuales entre 1,4 y 1,7 °C para mediados de siglo y hasta entre 3 y 3,5 °C para 2100. Los modelos climáticos regionales proyectan que los aumentos de temperatura serán mayores en las regiones centrales, donde se cultiva el aguacate. Se prevé que el número de días con heladas ($T_{min} < 0$ °C) disminuirá entre 12 y 42 días para la década de 2050. Se prevé que el número de días de verano ($T_{max} > 25$ °C) comience antes y aumente de 2 a 27 días para la década de 2050. 	<p>Se proyecta que las precipitaciones en Chile disminuirán constantemente entre 1,5 y 9,3 mm por mes para la década de 2050, y entre 5,5 y 11 mm para 2090.</p> <ul style="list-style-type: none"> Se prevé que la región central de Chile experimente una reducción significativamente mayor en las precipitaciones que otras regiones. Es probable que las condiciones de mayor calor y escasez de agua aumenten la evapotranspiración y reduzcan la humedad del suelo.
Colombia	<p>El cultivo de aguacate se concentra principalmente en las cordilleras centrales, entre el norte del departamento de Cauca y el departamento de Antioquia (HAB, 2022b).</p> <ul style="list-style-type: none"> Se prevé que el número de días muy calurosos (temperaturas superiores a 35 °C) aumentará de aproximadamente 16 a 131 días al año para finales de siglo. Se prevé que continúe la pérdida de glaciares, con consecuencias críticas para la disponibilidad de agua. 	<p>Se producirán inundaciones más frecuentes y clima más frío, asociados con eventos de La Niña.</p> <ul style="list-style-type: none"> Es probable que nichos de cultivos altamente especializados, como el café, el cacao y otras frutas, experimenten cambios críticos en la prevalencia de plagas y enfermedades debido al aumento de las precipitaciones y la humedad.



País	Proyecciones de temperatura	Proyecciones de precipitación
<p>Kenya</p>	<p>La producción de aguacate se produce en cinco condados principales. La mayor parte de la producción (40 %) se realiza en el condado de Murang’a, ubicado en la región central del país, seguido de Nyeri, ubicado en las tierras altas centrales. Otras regiones que cultivan aguacate incluyen Kiambu, Kisii, Meru y toda la región del Monte Kenya (Avodemia; Sociedad del Aguacate de Kenya).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se prevé que las temperaturas seguirán aumentando en 1,7 °C para la década de 2050 y aproximadamente 3,5 °C para 2100. • El número de días y noches calurosos aumentará; se prevé que para mediados de siglo habrá días calurosos entre el 19 y el 45 % de los días. Se prevé que las noches calurosas aumenten más rápidamente y se prevé que ocurran entre el 45 y el 75 % de las noches a mediados de siglo. 	<p>Se prevé que las precipitaciones seguirán siendo muy variables e inciertas. Se pronostican aumentos en las precipitaciones promedio a mediados de siglo, principalmente durante la estación de lluvias corta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se prevé que los episodios de precipitaciones extremas aumenten en frecuencia, duración e intensidad, con el consiguiente aumento del riesgo y la intensidad de inundaciones, deslizamientos de lodo y del terreno. • La variabilidad climática también aumentará las probabilidades de sequía en algunas regiones. • Algunas regiones de Kenya pueden verse beneficiadas por un clima cambiante, específicamente las tierras altas templadas y tropicales.
<p>Sudáfrica</p>	<p>La producción de aguacate se ha concentrado tradicionalmente en las provincias de Limpopo y Mpumalanga, en el noreste del país. Sin embargo, debido a la creciente demanda mundial y a la exigencia de producir durante todo el año, la producción se está expandiendo en KwaZulu-Natal y las provincias del Cabo Oriental y Occidental (SAAGA, 2023).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se prevé que continúe el aumento de las temperaturas, con un aumento en las temperaturas medias mensuales de 2,0 °C para la década de 2050 y 4,2 °C para la década de 2090, en un escenario de altas emisiones (es decir, un escenario sin cambios). • A mediados de siglo, el Cabo Norte, el Noroeste y Limpopo probablemente sufrirán un aumento de los días calurosos (Tmax>35 °C) de 20 y 40 días por año; lo que significa más de 120 días al año en el interior del país para 2100. • A medida que aumenten las temperaturas, se producirán olas de calor más intensas y tasas más altas de evapotranspiración, lo que afectará la productividad agrícola. 	<p>Las proyecciones de precipitaciones siguen siendo inciertas, pero la mayoría de los modelos apuntan a una disminución anual de las precipitaciones en el país.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se prevé un aumento en la escasez de agua, afectando a las regiones central, norte y sudoccidental. • También es probable que aumente el riesgo de futuras inundaciones, especialmente en KwaZulu-Natal, el Cabo Oriental y Limpopo. • Los cambios en los patrones de lluvia alterarán significativamente la productividad agrícola, cambiarán las temporadas de cosecha y aumentarán los déficits de humedad del suelo.

Fuente: Datos y descripciones de tendencias climáticas extraídos de los informes del perfil de riesgo nacional del Banco Mundial (2021; 2022). También se recuperó información de México del **CEDRSSA**. 2020. *Impacto económico del cambio climático en México*. México. Para el Perú, **Ministerio del Ambiente**. 2016. *Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Perú.

2.3 Las contribuciones determinadas a nivel nacional y la importancia de los Planes Nacionales de Adaptación para el sector agrícola

De conformidad con los argumentos apenas expuestos sobre las tendencias climáticas a nivel nacional, es importante comprender cómo los países están planificando y coordinando sus esfuerzos para abordar el cambio climático a través de medidas para reducir las emisiones de GEI y la ejecución de planes de adaptación a nivel nacional. En el ámbito internacional, el fundamento de estas acciones surge del **Acuerdo de París**, que fue firmado por 196 países el 12 de diciembre de 2015 en París, Francia, en la Conferencia de las Partes (COP21) en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). El Acuerdo de París es un **tratado internacional sobre el cambio climático, jurídicamente vinculante**. Entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Los seis países cubiertos en esta guía son signatarios del Acuerdo. Su objetivo general es limitar “el calentamiento mundial muy por debajo de 2 °C por encima de los niveles preindustriales” y realizar esfuerzos “para limitar el aumento de temperatura a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales” (CMNUCC, 2023). El Acuerdo de París también incluye el Objetivo Global de Adaptación, que tiene como objetivo “aumentar la capacidad de adaptación, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad al cambio climático, para contribuir al desarrollo sostenible y garantizar una respuesta de adaptación adecuada” (CMNUCC, 2015). En los últimos años, los líderes mundiales han subrayado la necesidad de limitar el calentamiento mundial a 1,5 °C para finales de este siglo. Según el IPCC, si se supera el rango de 1,5 °C se corre el riesgo de desencadenar repercusiones del cambio climático mucho más graves, incluidas sequías más frecuentes y graves, olas de calor y precipitaciones. Para lograrlo, las emisiones de GEI deben alcanzar su punto máximo antes de 2025 a más tardar, y disminuir un 43 % para 2030 (IPCC, 2023).

La implementación del Acuerdo de París por parte de cada país signatario se logra a través de planes nacionales de acción climática conocidos como **contribuciones determinadas a nivel nacional** (CDN), que describen los esfuerzos realizados por cada país después de 2020 para reducir las emisiones nacionales de GEI y adaptarse a los efectos del cambio climático. Cada uno de los países debe establecer objetivos de reducción de las emisiones de GEI, describir cómo planean lograrlos a través de medidas de mitigación y describir sus estrategias para implementar prácticas de adaptación en todos los sectores priorizados. Las CDN se presentan cada cinco años a la Secretaría de la CMNUCC. Con el fin de elevar las ambiciones en el tiempo, el Acuerdo de París establece que las CDN sucesivas deben representar una progresión en comparación con las CDN anteriores y reflejar su mayor ambición posible. Las CDN sirven como una forma colectiva de rastrear el progreso mundial en los objetivos climáticos y señalar si el calentamiento mundial puede mantenerse muy por debajo del rango de 1,5 °C. Los seis países cubiertos por la guía han presentado **Informes sobre las CDN**⁹ a la CMNUCC desde 2020.

⁹ Los informes sobre las CDN para todos los países cubiertos por la guía están disponibles en el Registro de las CDN gestionado por la CMNUCC. Los informes están disponibles para Chile, Colombia, Kenya, México, el Perú y Sudáfrica.



Una revisión de estos informes indica que los objetivos de mitigación, y los programas específicos para reducir las emisiones, siguen siendo el eje central de las CDN. Si bien en los seis informes revisados se mencionan los esfuerzos de adaptación, en la mayoría de los casos se hace en términos más generales o abstractos que los relacionados con la mitigación, y no hay indicaciones claras de cómo se monitorearán y medirán estos esfuerzos. Estos hallazgos también fueron confirmados en el **Informe de síntesis de las CDN 2022 de la CMNUCC** que revisó 166 de las CDN, incluidas 142 CDN nuevas o actualizadas, y así como por el Informe de actualización global de las CDN de 2023. Estos informes encontraron que, si bien había mejorado el componente de adaptación en las CDN actualizadas, aún se necesita más trabajo para introducir objetivos de adaptación cuantitativos con plazos determinados y con marcos de indicadores de medición en todos los informes. Uno de los desafíos para fomentar una mayor claridad sobre las estrategias y objetivos de adaptación es la falta de un marco de presentación de informes estandarizado para la adaptación en las CDN. Algunos países han definido claramente sus programas de adaptación y han comenzado a fijar objetivos en sus CDN (por ejemplo, Kenya), mientras que otros siguen siendo más abstractos.

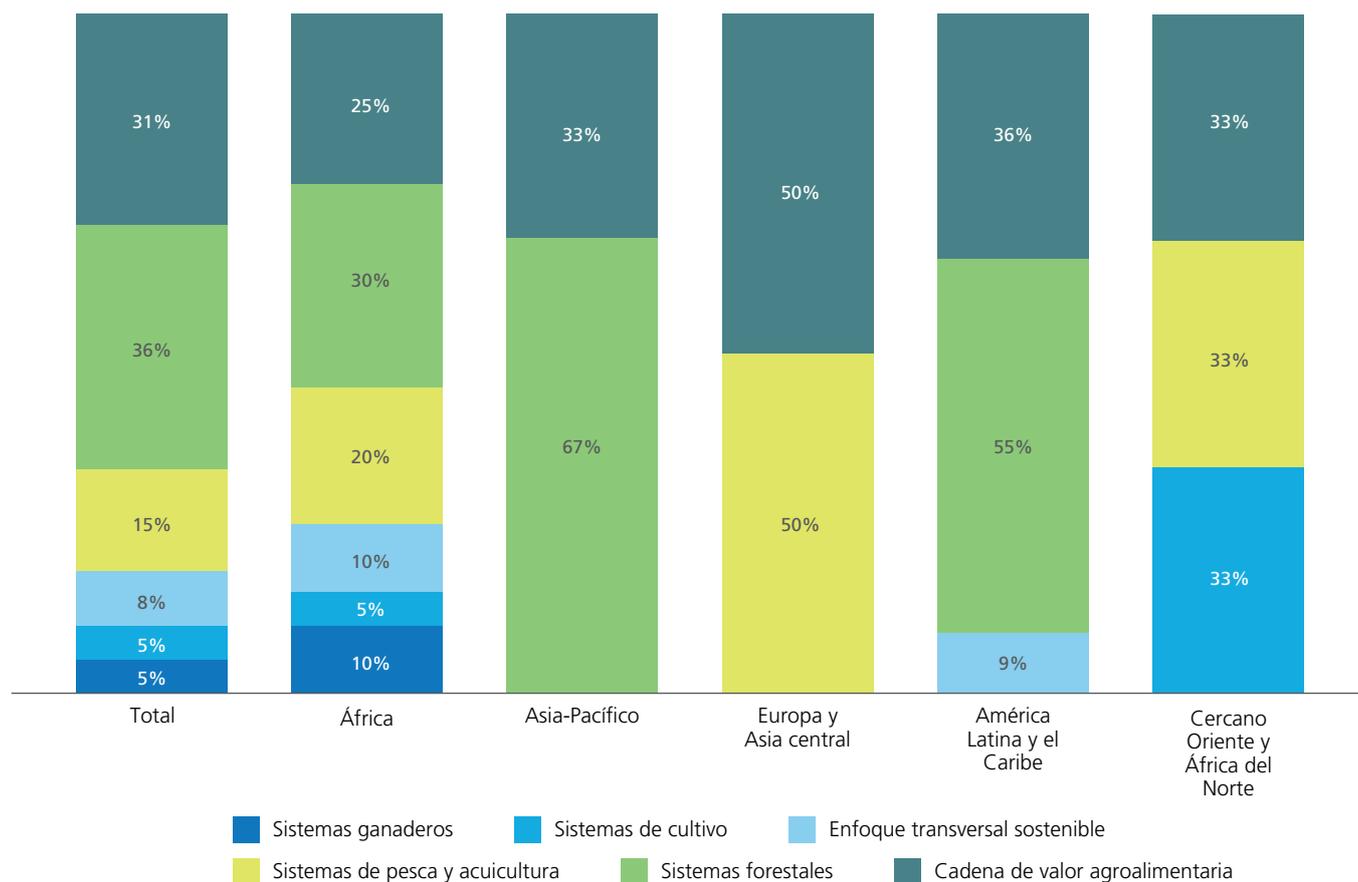
El desarrollo y la ejecución de los Planes Nacionales de Adaptación es un instrumento importante para operacionalizar la implementación de los objetivos de adaptación incluidos en las CDN. La adaptación al cambio climático en los sectores agrícolas se encuentra entre las principales prioridades identificadas en los planes climáticos nacionales de los países en desarrollo. Más del 95 % de los países en desarrollo que especificaron prioridades o acciones de adaptación en sus CDN se refirieron a los sectores de la agricultura y uso de la tierra; y el 78 % se refirió a acciones específicas relacionadas con ecosistemas y recursos naturales (FAO, 2016, 2017a; Crumpler *et al.*, 2021). Sin embargo, estos planes suelen ser débiles en lo que respecta a los detalles sobre cómo se orientarán los esfuerzos para apoyar la adaptación en la agricultura. Tampoco cubren aspectos críticos de la planificación de la adaptación que son necesarios para apoyar tanto a la agricultura (incluida la producción agrícola y ganadera, la pesca y la silvicultura), como la seguridad alimentaria y la nutrición. Asimismo, también se necesita un enfoque sensible a las cuestiones de género en la integración de la agricultura en los planes nacionales de adaptación (NAP-Ag por sus siglas en inglés) para reconocer el efecto desproporcionado del cambio climático en los medios de vida de las mujeres, las niñas y los jóvenes, y comenzar a abordar las desigualdades estructurales (por ejemplo, en políticas, leyes, normas, instituciones, etc.) que refuerzan muchos de los diferentes desafíos de adaptación que experimentan mujeres y hombres (FAO, 2018a).

Las CDN y los Planes Nacionales de Adaptación también reconocen la necesidad fundamental de involucrar a las empresas privadas en los sectores de la agricultura y uso de la tierra. Un análisis reciente de las CDN y los Planes Nacionales de Adaptación presentados hasta la fecha indica que, si bien el 60 % de los países participa en consultas con el sector privado durante el proceso de planificación de sus CDN, solo el 10 % mantiene una colaboración activa (Crumpler *et al.*, 2021). Esta tendencia se observa en todas las regiones, si bien la región de América Latina y el Caribe muestra una colaboración más activa entre los gobiernos y el sector privado en la planificación de las CDN (*ibid.*).

Estrategias de adaptación al cambio climático para la industria de las frutas tropicales: una guía técnica para productores y exportadores de aguacate.

Los principales puntos de entrada para el diálogo sobre la acción por el clima en todas las regiones están vinculados al potencial de mitigación o de adaptación en los sistemas forestales (36 %) y las cadenas de valor agroalimentarias (21 %; **Figura 7**), ambos de gran relevancia para la industria del aguacate que opera en los países seleccionados para el análisis de esta guía.

Figura 7. Puntos de entrada del sector privado en la planificación de las CDN relacionadas con los sectores agrícolas, por región y subsector



Fuente: **Crumpler, K., Abi Khalil, R., Tanganelli, E., Rai, N., Roffredi, L., Meybeck, A., Umulisa, V., Wolf, J. y Bernoux, M.** 2021. 2021 (Interim) Global update report – Agriculture, Forestry and Fisheries in the Nationally Determined Contributions. (Informe de actualización global 2021 (interino): Agricultura, silvicultura y pesca en las contribuciones determinadas a nivel nacional). Gestión del medio ambiente y los recursos naturales. Documento de trabajo N.o 91. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7442en>.

Para abordar los desafíos antes mencionados, desde 2015, la FAO y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) se han asociado con los países para trabajar en la integración de soluciones de adaptación específicas para el sector agrícola, como parte de los Planes Nacionales de Adaptación en sentido más amplio, desarrollados por los países. El programa titulado **Integración de la agricultura en los planes nacionales de adaptación** (NAP-Ag por sus siglas en inglés) ha trabajado con los 11 países para identificar e integrar medidas de adaptación climática para el sector agrícola en los procesos nacionales de planificación y presupuestación, en apoyo al logro de los ODS y el Acuerdo de París. Dos de los principales países productores de aguacate, **Colombia** y **Kenya**,



están incluidos en el programa NAP-Ag. Si bien los planes elaborados no se centran en el sector de las frutas tropicales, merecen una mayor consideración dada la identificación de factores de riesgo climático para la agricultura en los planes y las medidas de adaptación propuestos, que también son relevantes para la producción de frutas tropicales (por ejemplo, manejo del agua, conservación, protección de la biodiversidad, agrosilvicultura y sistemas de alerta temprana). El **Cuadro 3** destaca algunos ejemplos del apoyo brindado por el programa NAP-Ag a estos países.

Cuadro 3. Resumen del apoyo brindado por el Programa NAP-Ag a los países para el desarrollo de sus Planes Nacionales de Adaptación

País	Apoyo del PNDA-Ag
Colombia	<p>Lanzadas en 2017, las actividades del NAP-Ag se centran en fortalecer el proceso de formulación del Plan de cambio climático para el sector agrícola, que aborda la adaptación y la mitigación de manera cohesiva, además de centrarse en la implementación de soluciones de adaptación a nivel de la agricultura familiar. Las áreas de apoyo incluyeron:</p> <ul style="list-style-type: none"> • análisis de vulnerabilidad y riesgo; • seguimiento y evaluación; • formulación de un plan de gestión integral del cambio climático para los sectores agrícolas; • evaluación nacional de la vulnerabilidad climática para los sectores agrícolas; • sistema piloto de cacao agroforestal adaptado al cambio climático; • plataforma de intercambio de experiencias de adaptación en el sector agrícola; • integración del enfoque de género en la planificación nacional de adaptación para los sectores agrícolas; y • financiación relacionada con el cambio climático.
Kenya	<p>Las actividades de NAP-Ag en Kenya están orientadas a promover e implementar prácticas agrícolas climáticamente inteligentes a largo plazo. Se brindó apoyo técnico para desarrollar la <i>Estrategia climáticamente inteligente de Kenya 2016-2026</i>. Las contribuciones a corto y mediano plazo incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • aumentar la sensibilización sobre las repercusiones del cambio climático y evaluar el riesgo climático y la vulnerabilidad de las cadenas de valor agrícolas; • identificar las sinergias entre la adaptación y la mitigación; • promover la adopción de información relacionada con el clima para la agricultura; y • desarrollar y ampliar la adaptación específica en los subsectores agrícolas.

Fuente: Adaptado desde **FAO**. 2023. *Integración de la agricultura en los Planes Nacionales de Adaptación*. [Consultado el 2 de mayo de 2023]. www.fao.org/in-action/naps/partner-countries.

En los últimos años, el trabajo en el marco del programa NAP-Ag también ha avanzado para incluir el apoyo al diseño de sistemas de seguimiento y evaluación (SyE) para la adaptación en los sectores agrícolas, que se incorporarán a los Planes Nacionales de Adaptación (FAO y PNUD, 2023). Según la FAO y el PNUD (2023), los países enfrentan varios desafíos al realizar el SyE de la adaptación, incluidas las escalas de largo plazo en las que se desarrollan los efectos del cambio climático; la incertidumbre de los efectos climáticos; la especificidad del contexto y falta de indicadores comunes; la dificultad de atribuir el efecto a las intervenciones de adaptación o de desarrollo, y el acceso y disponibilidad de

datos climáticos relevantes. Sin embargo, se está avanzando y se reconoce que es esencial vincular los sistemas de SyE a los procesos más amplios de planificación e implementación de la adaptación, incluidos los Planes Nacionales de Adaptación y las CDN.

En el contexto de la industria de frutas tropicales, es útil comprender cómo sectores específicos como, la producción y exportación de aguacate, pueden contribuir a lograr los objetivos de mitigación y adaptación establecidos en las CDN y los Planes Nacionales de Adaptación. Podría ser útil que la industria alineara sus esfuerzos con los esfuerzos nacionales y subregionales, donde estos existan, y demostrar a los responsables de las políticas que la industria está realizando esfuerzos colectivos para apoyar estos planes. Iniciativas específicas, como el monitoreo de las huellas de carbono y de agua con herramientas de *Open Source* (como la que actualmente está desarrollando el Proyecto de Frutas Responsables para la industria de la piña), podrían ayudar a las asociaciones de productores y exportadores a demostrar de manera concreta cómo la adaptación y la mitigación apoyan los esfuerzos en consonancia con las estrategias, planes y objetivos nacionales. Se deberían considerar enfoques similares para monitorear y evaluar las prácticas de adaptación identificadas en el **Capítulo 4** de la guía, de modo que las iniciativas lideradas por la industria y las alianzas público-privadas puedan destacar su contribución al logro de los objetivos nacionales de adaptación.

Capítulo 3.

Riesgos climáticos que enfrenta la producción de aguacate



Como se discutió en la **subsección 2.2.1** del Capítulo 2, en todos los países productores de aguacate identificados en la guía, se pronostica un aumento en las temperaturas promedio para finales del siglo y, como resultado, se prevén condiciones climáticas extremas más frecuentes e intensas. La temperatura tiene un papel importante en la regulación del crecimiento de las plantas y el ciclo de desarrollo del fruto en las plantas de aguacate, incluida la reproducción, la fertilización, la viabilidad del polen y el cuajado del fruto. Por lo tanto, temperaturas muy altas o muy bajas afectarán el rendimiento de las plantas y la producción general, como se explica a continuación. Asimismo, los cambios de temperatura, especialmente el clima más cálido, podrían dar lugar a un cambio significativo en la idoneidad de las zonas potenciales para la producción de frutas tropicales, como ya se ha observado en algunos de los principales países productores de aguacate.

Por otro lado, a diferencia de las tendencias en la temperatura, los patrones de precipitación futura no muestran una tendencia clara y varían según la región y el país productor. Se prevé que países como Colombia, Kenya y el Perú experimenten un aumento de las precipitaciones para 2100, mientras que en México, Chile y Sudáfrica se pronostica una reducción de las precipitaciones (más detalles en la **subsección 2.2.2**).

Sobre la base de estas tendencias climáticas proyectadas, este capítulo presenta un resumen de los riesgos climáticos identificados a través de una revisión de la literatura científica y consultas realizadas con productores y asociaciones de la industria aguacatera. La comprensión de estos riesgos puede ayudar a los productores, asociaciones y empresas aguacateras a considerar los riesgos climáticos futuros en los procesos de toma de decisiones para gestionar y mitigar las repercusiones potenciales en consecuencia. Cada uno de estos riesgos:

- identifica y describe los efectos del cambio climático en la producción de aguacate;

Estrategias de adaptación al cambio climático para la industria de las frutas tropicales: una guía técnica para productores y exportadores de aguacate.

- ilustra otras repercusiones potenciales que el cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos pueden tener en las dimensiones social y económica de la producción de aguacate; y
- destaca los riesgos climáticos experimentados en diferentes países productores de aguacate.

El **Cuadro 4** resume los principales riesgos climáticos y algunos efectos en la producción de aguacate.

Cuadro 4. Principales riesgos climáticos y otras repercusiones y amenazas conexos para la producción de aguacate

Variables climáticas	Riesgos y repercusiones identificados	
Temperatura	 Aumento de las temperaturas	 Calor extremo
	 Heladas	 Granizadas
Precipitación	 Lluvias intensas	 Escasez de agua
	 Sequías	 Cambios en los patrones de lluvia
Mixtas y otras	 Ciclo de producción alternante	 Reducción de polinizadores
	 Propagación de plagas y enfermedades	 Erosión del suelo
	 Vientos fuertes	



3.1 Temperatura

Altas temperaturas

Los árboles de aguacate necesitan una temperatura entre 17 y 24 °C para su desarrollo normal, donde la planta alcanza su crecimiento óptimo a una temperatura de 20 °C. Asimismo, el aguacate requiere una temperatura mínima de 10 a 17 °C y máxima de 28 a 33 °C para el cuajado de los frutos. Fuera de estos rangos, la producción de aguacate se verá afectada, como se resume en el **Cuadro 5**, impactando el total de producción y de ingresos de los productores de aguacate.

Cuadro 5. Efectos de la temperatura en la producción de aguacate

Etapa de producción	Efecto
Floración	Las temperaturas superiores a 33 °C en climas subtropicales húmedos, y superiores a 21 °C en zonas de gran altitud, acortan el período de apertura floral y reducen el número de flores que se abren, disminuyendo la viabilidad del polen y la producción de frutos.
Cuajado de frutos	Las temperaturas de 28 a 33 °C pueden provocar el aborto de los embriones de Hass y, combinadas con una baja humedad, pueden ocasionar la caída de frutos pequeños (menos de 5 mm) del árbol.
Calidad	Las altas temperaturas, y la radiación solar ligada a estas, afectan la piel del aguacate y pueden propiciar las condiciones para la proliferación de enfermedades. Dependiendo del grado de daño, es posible que la fruta quemada por el sol no cumpla con los requisitos de calidad en los mercados internacionales.

Fuente: Álvarez-Bravo, A., Salazar-García, S., Ruiz-Corral, J.A. y Medina-García, G. 2017. Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate 'Hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (19): 4035-4048; y Howden, M., Newett, S. y Deuter, P. 2005. *Cambio climático: riesgos y oportunidades para la industria del aguacate*. Conferencia de Productores de Aguacate de Nueva Zelanda y Australia. 20 al 22 de septiembre de 2005. Tauranga, Nueva Zelanda. <https://synergetictrees.org/climate-change-risks-and-opportunities-for-the-avocado-industry>.

Las altas temperaturas pueden causar estrés térmico, afectando significativamente el desarrollo de las plantas (como la germinación de las semillas, el crecimiento vegetativo y la reproducción). El estrés por calor puede afectar los procesos fisiológicos cruciales para la planta como la fotosíntesis y la tasa de respiración, la conductancia estomática y la homeostasis del potencial hídrico de las hojas. Asimismo, la asimilación neta de carbono puede disminuir debido al aumento de la fotorrespiración (Shapira *et al.*, 2021).

La temperatura también afecta la viabilidad del polen. La máxima adhesión del polen al estigma y la germinación óptima del polen se producen a temperaturas que oscilan entre 20 y 25 °C (Hormaza, 2014). Fuera de estos rangos (por encima de 25 °C y por debajo de 15 °C), se inhiben la germinación del polen y la fertilización.

Las altas temperaturas también influyen negativamente en la calidad del fruto, donde la maduración óptima se produce entre 21 y 27 °C. Las temperaturas superiores a 30 °C provocan una maduración

irregular y oscurecimiento de la pulpa del aguacate (Arpaia *et al.*, 2018), mientras que a 40 °C o más se observa una maduración anormal y excesiva (Acosta *et al.*, 2022). Esto implica que cuando se experimentan temperaturas cálidas, aumenta la probabilidad de daños a la fruta, provocando efectos negativos en la disponibilidad del total de producto comercializable.

Aumento de la radiación solar

Se prevé que un clima más cálido aumente la radiación solar. El aumento de la radiación probablemente provocará quemaduras solares en hojas y frutos cuando los rayos solares directos e intensos caen sobre los frutos sin una suficiente cubierta foliar protectora. Los tejidos tiernos de las ramas expuestas a la radiación solar directa también pueden sufrir quemaduras; y las ramas dañadas pueden, eventualmente, secarse y morir. El daño de las quemaduras solares en la piel del aguacate aparece como una mancha de color verde amarillento debido a la decoloración del pigmento verde (clorofila) (Steyn, 2020; **Figura 8**). Los daños graves por quemaduras solares reducen la comerciabilidad de la fruta, ya que se reduce su calidad para la exportación. El aumento de la radiación producida por temperaturas más cálidas también se ha asociado con una mayor susceptibilidad a los patógenos (Howden, Newett y Deuter, 2005).

Figura 8. Aguacate con señas de quemaduras solares



© FAO/Astrid Randen.



Temperaturas más bajas

Se requieren temperaturas bajas, de aproximadamente 7 a 10 °C, y un fotoperíodo corto para iniciar la floración. También se requieren temperaturas de 20 a 25 °C durante el día y 10 °C durante la noche para asegurar una buena fertilización y un buen cuajado de los frutos (Ortega, 2022). Sin embargo, durante la floración, la exposición a períodos prolongados de temperaturas nocturnas de 10 °C o menos puede reducir la polinización, el cuajado y la retención de frutos (Howden, Newett y Deuter, 2005). Esto ocurre cuando las bajas temperaturas acortan la fase de la flor en su estado femenino, reduciendo la polinización cruzada, además de que las flores también se vuelven menos receptivas al polen. Asimismo, los polinizadores (como las abejas) son menos activos en condiciones de clima frío. Un cuajado deficiente de frutos también puede hacer que el árbol de aguacate comience a crecer excesivamente, lo que puede requerir poda después de la cosecha para controlar el crecimiento. La reducción de la fertilización y el cuajado de los frutos puede provocar una reducción significativa del rendimiento, además de pérdidas económicas.

El estrés por frío también disminuye la tasa y eficiencia de la fotosíntesis debido a una disminución en la difusión de dióxido de carbono de la atmósfera, así como por los cambios metabólicos que sufre la planta cuando se experimenta un clima frío (Chung *et al.*, 2022). La exposición a temperaturas muy bajas, incluso por poco tiempo, puede causar daños irreversibles a las plantas, ya que el estrés por frío severo puede romper su fotosistema y su sistema antioxidante (Chung *et al.*, 2022).

Granizadas

La granizada es un evento muy esporádico, lo que dificulta su predicción en un momento exacto en una zona geográfica determinada. Utilizando datos históricos de granizadas, las empresas y las instituciones pueden predecir la prevalencia del granizo, la época del año en la que pueden ocurrir tormentas y la intensidad promedio del evento (Steyn, 2020). Sin embargo, es probable que el cambio climático, a través del aumento de las temperaturas, también vuelva las tormentas de granizo más frecuentes y graves. Si bien la previsión del granizo es menos exacta que la de otros fenómenos meteorológicos, un clima más cálido propiciará factores que contribuyan a granizadas más frecuentes y a la formación de bolas de granizo más grandes (Raupach *et al.*, 2021). Este riesgo ha sido identificado como una de las principales preocupaciones del sector aguacatero, particularmente en Chile, México y Sudáfrica, que ha impactado negativamente en la producción. Según los participantes del proyecto, las granizadas han provocado una reducción de la productividad debido a la pérdida de flores y cuajado de frutos, han impactado negativamente la calidad de los frutos (frutos más pequeños) y han causado graves daños a los árboles y la infraestructura.

Las granizadas pueden afectar la producción de aguacate de diferentes maneras. El granizo afecta la producción de flores y, cuando van acompañadas de vientos más fuertes, las tormentas de granizo pueden reducir enormemente la cantidad de flores en los árboles y el cuajado de los frutos (Steyn, 2020). Cuando las flores y los frutos ya están desarrollados, las granizadas pueden causar una pérdida total de la cosecha de frutos y pueden facilitar la proliferación de hongos patógenos (Vargas *et al.*,

2012). La calidad de la fruta también se ve afectada, ya sea directamente por el daño a la fruta madura (**Figura 9**) haciéndolas no comercializables, o dañando los frutos inmaduros al frotarlos con ramas cercanas o con otros frutos (Steyn, 2020). Para poner esto en perspectiva, un estudio realizado en México mostró que las fuertes granizadas que ocurrieron en 2010 dañaron más de 10 000 hectáreas de huertos de aguacate en Michoacán y provocaron la pérdida total de la producción y, en algunos casos, la defoliación total de los árboles (Vargas *et al.*, 2012).

Figura 9. Efecto del granizo en el fruto del aguacate



Fuente: **Steyn, T.C.** 2020. *Comparing hail risk management strategies through whole-farm multi-period stochastic budgeting for avocado production in South Africa.*

3.2 Precipitación

El agua es fundamental para la producción de aguacate. Los requisitos de agua para el aguacate varían según las condiciones climáticas (lluvias y temperatura), los tipos de suelo, la edad de los árboles y la carga de cultivos. El déficit o el exceso de agua puede afectar negativamente la producción de aguacate en varias etapas (**Cuadro 6**).

Cuadro 6. Resumen de efectos del déficit o exceso de agua en la producción de aguacate

Etapa de producción	Efecto
Floración	Las precipitaciones insuficientes y la ausencia de riego suplementario provocan la pérdida de flores, reduciendo la producción de frutos. El exceso de lluvias durante el período de floración perjudica la acción de los polinizadores y la calidad del polen, afectando la fructificación.
Cuajado de frutos	Una humedad muy baja puede provocar la desecación de las flores y un fallo en el cuajado de los frutos.
Calidad	La alta humedad puede provocar manchas en la fruta y reducir la calidad. Las escasas precipitaciones, combinadas con las altas temperaturas, pueden afectar el tamaño de los frutos del aguacate.



Etapa de producción	Efecto
Establecimiento y desarrollo de las plantas	La alta humedad también trae consigo la proliferación de plagas y enfermedades, como <i>Phytophthora cinnamomi</i> y <i>Monolepta</i> sp. La prevalencia de patógenos puede verse agravada con el aumento de temperaturas y si los suelos presentan características de degradación.
Expansión de la producción	Las bajas precipitaciones y la escasez de agua subterránea pueden limitar tanto el establecimiento de nuevos huertos y la continuidad de la producción. En contraparte, las lluvias y los vientos intensos pueden producir pérdida de frutos y daños a árboles e infraestructuras.

Fuente: ver la lista de referencias al final.

Sequía y déficit de agua

La baja disponibilidad de agua afecta negativamente la producción de aguacate, provocando estrés en las plantas y un mayor riesgo de erosión del suelo. El déficit de agua en los árboles reduce el diámetro del tronco y disminuye la conductancia estomática, el potencial hídrico del tallo, la fotosíntesis neta y la asimilación neta de carbono (Priego y Rodríguez, 1994). También disminuye la productividad potencial y conduce a trastornos en el desarrollo del fruto (Mesa *et al.*, 2021). Durante las etapas previas a la cosecha del fruto, el déficit hídrico obliga al árbol de aguacate a redistribuir el agua a otras partes de la planta, aumentando la materia seca del fruto, retrasando el proceso de maduración y reduciendo la calidad general del fruto (Mesa *et al.*, 2021).

La falta de agua durante la floración, cuando la superficie de evapotranspiración del árbol aumenta sustancialmente, puede disminuir el cuajado y aumentar la caída de frutos en las primeras etapas de desarrollo. Durante las fases de desarrollo y crecimiento del fruto, la falta de agua puede resultar en frutos de menor tamaño y alteraciones en la calidad interna (Ortega, 2022).

Desde el punto de vista económico, la escasez de agua también agudiza la vulnerabilidad de las fincas de aguacate, en particular las de pequeña escala, ya que el agua se vuelve más cara y a menudo en la asignación de agua se da preferencia a las grandes agroindustrias (Sommaruga y Eldridge, 2020). En algunos países productores de América Latina, los productores ya están experimentando una creciente competencia por el agua con otras industrias y el uso doméstico, particularmente durante la estación seca (Comisión Europea, 2021). Esta competencia también ha creado conflictos y tensiones entre los productores y las comunidades locales, según algunas empresas y asociaciones de aguacate que participan en el proyecto.

Inundaciones y aumento de las precipitaciones

Las inundaciones son un estrés complejo que puede ser causado por inundaciones naturales, precipitaciones intensas, riego excesivo o niveles freáticos elevados (Kourgialas y Dokou, 2021). Comprenden varios estreses individuales, incluida la hipoxia, los cambios en el pH del suelo y el aumento de la actividad patógena, todos los cuales contribuyen al estrés general que experimenta la planta.

Los árboles de aguacate tienen un sistema de raíces relativamente poco profundo que no se extiende mucho más allá de la cobertura de copa. Las raíces tienen pocos pelos radiculares, poca absorción de agua y sensibilidad a las bajas concentraciones de oxígeno del suelo. Estas características convierten al aguacate en uno de los frutales más susceptibles al encharcamiento del suelo. Las inundaciones producen condiciones hipóxicas o anóxicas en la zona de las raíces al desplazar el oxígeno en el suelo, e incluso unos pocos días de agua estancada en la zona de las raíces pueden impactar negativamente los procesos fisiológicos (Sanclamente *et al.*, 2014). Los efectos incluyen la reducción de la fotosíntesis, el cierre de los estomas y la disminución de la conductividad hídrica de las raíces, lo que provoca una reducción del crecimiento y el rendimiento (Reeksting *et al.*, 2016). En última instancia, la hipoxia puede provocar la mortalidad de los árboles, ya que se reduce la respiración aeróbica y se inhibe la absorción de nutrientes (Kourgialas y Dokou, 2021).

3.3 Ciclo de producción alternante

Los árboles de aguacate son propensos a sufrir el fenómeno de producción alternante, que puede ser estimulado por diferentes factores, incluidos eventos climáticos extremos como heladas y temperaturas bajas o altas. La producción alternante se refiere a un ciclo bienal donde hay un ciclo *on* y un ciclo *off*, que da como resultado una gran producción de aguacates pequeños en un año, seguida de una pequeña producción de aguacates grandes el año siguiente. Una vez iniciado, un ciclo de producción alternante puede ser difícil de detener, ya que una gran producción de flores y frutos agota el árbol, lo que inhibe el cuajado y la floración, y por tanto lleva a una producción menor el siguiente año. Asimismo, una pequeña cosecha secundaria conduce a un cuajado y floración robustos y una cosecha grande al año siguiente (Paz-Vega, 1997).

La producción alternante tiene un grave efecto negativo en la industria comercial del aguacate, ya que afecta la producción y las ventas. El ciclo *on* se caracteriza por una gran cantidad de aguacates de tamaño pequeño, que tienen un valor comercial reducido en el momento de la cosecha y que, dependiendo del tamaño, los hace en gran medida inadecuados para la exportación. Por otro lado, el ciclo *off* produce frutos de mayor tamaño, pero en pequeñas cantidades, lo que puede limitar la capacidad de los productores para obtener ingresos suficientes para la temporada (Lovat, 2010).

Las malas prácticas de manejo del cultivo, además de los factores climáticos, también pueden provocar alternancia en la producción aguacatera. Por ejemplo, un riego inadecuado durante la floración o el cuajado de los frutos puede provocar la producción de un número bajo o excesivo de flores y/o la caída de frutos. Una mala gestión de los nutrientes, como una fertilización baja, también puede estimular la caída excesiva de flores o frutos. La poda inadecuada puede promover la generación de follaje excesivo con menor cuajado de los frutos (Lovat, 2010). La actividad y los sistemas de polinización ineficientes también pueden afectar el cuajado de los frutos y provocar una producción alternante (Thorp, 2011).



Los cambios repentinos en las tendencias del mercado también pueden influir en la producción alternante, si los productores permiten que la fruta cuelgue de los árboles durante demasiado tiempo antes de la cosecha para obtener un precio unitario promedio más alto. Esta práctica puede estimular inesperadamente el fenómeno de producción alternante para la siguiente temporada, provocando pérdidas económicas.

3.4 Plagas y enfermedades

Se prevé que el cambio climático agudice la frecuencia y la resistencia de plagas y enfermedades (Skendžić *et al.*, 2021). Los cambios en la temperatura y la humedad acortarán los ciclos de las plagas, aumentando el daño a los huertos. En algunas regiones, puede aumentar la incidencia de enfermedades debido al aumento de las precipitaciones y los mayores niveles de humedad en los huertos.

Algunas de las principales plagas y enfermedades en la producción de aguacate que probablemente se vuelvan más frecuentes se enumeran en el **Cuadro 7**.

Cuadro 7. Plagas y enfermedades más frecuentes en la producción de aguacate

Plaga o enfermedad	Países donde se han observado las plagas
<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Australia, Chile, Colombia, España, Estados Unidos de América, Israel, Kenya, Marruecos, México, Nueva Zelandia, el Perú, República Dominicana, Sudáfrica
<i>Raffaelea lauricola</i>	Asia sudoriental, Estados Unidos de América
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Chile, Colombia, Kenya, México, el Perú, Sudáfrica
Trips o arañuelas (Heliothrips haemorrhoidalis)	Chile, Colombia, Estados Unidos de América, Israel, Kenya, México, Nueva Zelandia, Sudáfrica
<i>Verticillium dahliae</i>	Australia, Chile, Colombia, Ecuador, España, Israel, Italia, México, Sudáfrica
<i>Erwinia spp.</i>	Chile, Colombia, España, Guatemala, México, el Perú
Pudrición del tallo (<i>Botryosphaeria spp.</i>)	Chile, España, Estados Unidos de América, México, el Perú, Sudáfrica
<i>Cercosporiosis</i>	América Central, Colombia, México, el Perú, Sudáfrica
Mancha de sol del aguacate (ASBV)	Australia, España, Estados Unidos de América, Israel, el Perú, Sudáfrica
Cecidómido (agalla) del aguacate (<i>Trioza anceps</i> Tuthill)	América Central, México, el Perú
Barrenador del tronco y ramas del aguacate (<i>Copturus aguacatae</i> Kissinger)	Guatemala, México

Plaga o enfermedad	Países donde se han observado las plagas
Barrenador pequeño de la semilla de aguacate (<i>Conotrachelus aguacatae</i> Barber)	México, Nicaragua
Barrenador grande de la semilla de aguacate (<i>Heilipus lauri</i> Boheman)	América Central, Colombia, México
Palomilla barrenadora del aguacate (<i>Stenoma catenifer</i> Walsingham)	América Central, Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, México, el Perú, República Bolivariana de Venezuela

3.5 Reducción de polinizadores

Los cambios en el clima tendrán efectos perjudiciales en las poblaciones y sistemas de polinizadores del aguacate (**Figura 10**). Las temperaturas más cálidas pueden estimular la floración temprana, reduciendo la disponibilidad de alimento de las plantas para los polinizadores, especialmente para aquellos que no pueden adaptarse. Las estaciones secas más prolongadas y las sequías también pueden provocar una menor producción de néctar por parte de las flores para preservar la energía, lo que implica menos azúcares y calorías disponibles para los polinizadores, afectando su sanidad y reproducción.

Las precipitaciones extremas también pueden representar un desafío para los polinizadores, ya que pueden reducir la cantidad de horas que estos pueden volar para recolectar recursos florales. Las abejas, uno de los principales polinizadores del aguacate, son particularmente sensibles al viento, la lluvia y las bajas temperaturas (Dymond *et al.*, 2021). Juntos, estos factores darían como resultado una menor eficiencia de polinización, un menor cuajado de los frutos, un menor rendimiento y un bajo potencial comercializable para la industria (Acosta, 2022).

Los polinizadores desempeñan una función fundamental en la producción del aguacate, ya que inciden directamente en la fertilización y el cuajado del fruto. Un estudio realizado en Kenya observó un cuajado de frutos significativamente menor en las flores autopolinizadas y polinizadas por el viento (17,4 %) o autopolinizadas (6,4 %) en comparación con las flores polinizadas por insectos (89,5 %) (Sagwe, 2021).



Figura 10. Una abeja *A. mellifera* en una flor de aguacate



Fuente: **Sagwe, R.N., Peters, M.K., Dubois, T., Steffan-Dewenter, I. & Lattorff, H.** 2022. Pollinator efficiency of avocado (*Persea americana*) flower insect visitors [Eficiencia polinizadora de insectos visitantes de flores de aguacate (*Persea americana*)]. *Ecological Solutions and Evidence*, 3(4). <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12178>

3.6 Erosión del suelo

La erosión es el proceso de desgaste o daño severo de la capa superior del suelo (Montenegro *et al.*, 2020). Puede ser causada por el viento, las corrientes de agua de los arroyos, las fuertes lluvias y el riego, los cambios de temperatura o el uso inadecuado del recurso (por ejemplo, mala implementación de prácticas de manejo del suelo, uso excesivo de agroquímicos). Otras causas que contribuyen a la erosión y degradación del suelo son la deforestación y el cambio de uso de la tierra, así como el sobrepastoreo (Leon *et al.*, 2012).

Es probable que el cambio climático agudice los problemas relacionados con la salud del suelo, facilitando los procesos de erosión. Como se mencionó anteriormente, se prevén aumentos en las precipitaciones en algunos de los principales países productores de aguacate, como Colombia, Kenya y el Perú, acrecentando el riesgo de erosión del suelo debido a la posibilidad de una pérdida de la capa superior del suelo. Esto es especialmente preocupante en zonas de producción con pendientes pronunciadas y con suelos sin cobertura vegetal. A su vez, la erosión puede aumentar la frecuencia de encharcamientos producidos por lluvias intensas, creando las condiciones para la proliferación del patógeno *Phytophthora cinnamomi*, particularmente en lugares donde este hongo ya es problemático (Howden, Newett y Deuter, 2005). El clima más cálido puede provocar temperaturas más altas del suelo y evaporación, afectando su humedad y su estructura general. Esto puede conducir a una mayor demanda de agua para riego y riesgos para la confiabilidad del suministro de aguacate (*ibid.*).

El cultivo de árboles frutales en pendientes también puede aumentar la vulnerabilidad del suelo a la erosión. El movimiento del suelo necesario para la construcción de camellones es en sí mismo un proceso de erosión, ya que provoca un importante movimiento y alteración de la capa de suelo agrícola. A su vez, el suelo desnudo/sin cobertura vegetal y degradado es más propenso a sufrir erosión hídrica y eólica (Youlton *et al.*, 2010).

La erosión del suelo puede reflejarse en diferentes procesos de degradación, incluida la contaminación del suelo, la disminución de la fertilidad y la salinización. Se han observado problemas de degradación del suelo en zonas productoras de aguacate en Chile, Kenya, México y el Perú. La erosión y la degradación afectan la capacidad del suelo para retener y drenar el agua. Como se discutió en la sección sobre **precipitación**, el aguacate requiere un buen drenaje en el suelo para poder desarrollarse adecuadamente y prevenir la incidencia de hongos patógenos, ya que esta es una de las especies más sensibles a la asfixia radicular.

En general, la degradación del suelo y la tierra tiene efectos negativos en la producción, no solo al reducir la productividad sino también al afectar negativamente los ecosistemas y la biodiversidad adyacentes a las zonas de producción agrícola (Comisión Europea, 2021).

3.7 Vientos fuertes

El aguacate es susceptible a los fuertes vientos, tanto secos como fríos, que pueden inhibir la polinización y la fructificación. Los vientos fuertes también pueden provocar la caída de ramas, flores y frutos, y tener repercusiones en la calidad de los frutos en los árboles, a través de lesiones en la piel de los frutos debido a la fricción entre frutos y ramas (**Figura 11**).

Los vientos cálidos y secos ya están provocando efectos perjudiciales en la producción de aguacate en las regiones productoras de California, Israel y Sudáfrica, y se prevé que prevalezcan con temperaturas más altas y olas de calor esperadas en las condiciones del cambio climático (Rodríguez Pleguezuelo *et al.*, 2018; Ish-Am, 2005). Los vientos cálidos y secos pueden dificultar el vuelo y la sanidad de los agentes polinizadores, reduciendo el número de flores polinizadas y por tanto de frutos (Lazare *et al.*, 2022). Los vientos húmedos, particularmente en zonas donde la producción de aguacate está expuesta a huracanes, también pueden tener repercusiones negativas en el sistema radicular del aguacate y en la producción en general, si la tierra cultivada no tiene una buena protección natural o adicional contra el viento (FHIA, 2008). Los vientos húmedos pueden causar graves daños a los árboles rompiendo ramas y provocando la caída de frutos.

Figura 11. Señales de daños por viento en la piel del aguacate



Fuente: **New Zealand Herald.** 2022. Bay of Plenty avocado, kiwifruit growers counting cost of Cyclone Dovi's winds (Los productores de aguacate y kiwi de Bay of Plenty calculan el coste de las ventanas del ciclón Dovi). Consultado el 12 de junio de 2023. www.nzherald.co.nz/the-country/news/bay-of-plenty-avocado-kiwifruit-growers-counting-cost-of-cyclone-dovis-winds/D3XGLBWR7ZEQ32LOTQVJJA543U/.

Capítulo 4.

Estrategia de adaptación al cambio climático para el aguacate



Siguiendo con el **Capítulo 3** y la discusión sobre los riesgos climáticos y las repercusiones en la producción de aguacate, este capítulo presenta varias prácticas de adaptación identificadas a través de consultas con actores de la industria y a través de la literatura científica. Las prácticas recomendadas están estrechamente vinculadas a diferentes enfoques que promueven tanto la adaptación climática como la sostenibilidad en múltiples dimensiones. Estos incluyen agricultura climáticamente inteligente, agroecología, agricultura regenerativa y agricultura digital.

Las prácticas seleccionadas también pueden ayudar a los productores de aguacate a fortalecer la resiliencia de los sistemas productivos ante eventos climáticos futuros. Cada práctica:

- identifica qué riesgos climáticos pueden minimizarse o, en algunos casos, prevenirse mediante la adopción de la práctica;
- ofrece una breve descripción de la práctica y de cómo se aplica;
- ilustra otros posibles beneficios adyacentes a nivel ambiental, económico o social; y
- de estar disponible, destaca un ejemplo de aplicación en la práctica por parte de productores de aguacate, de asociaciones de productores o de empresas.

El **Cuadro 8** resume las prácticas incluidas en este capítulo y proporciona una visión general de las amenazas climáticas y los efectos asociados que abordan. Como se observa en el cuadro, la implementación de una práctica de adaptación puede ayudar a abordar múltiples riesgos, y varias prácticas combinadas pueden fortalecer la resiliencia general del sistema productivo.

Los ejemplos incluidos en este capítulo se utilizan como ilustraciones de los enfoques innovadores que las empresas y asociaciones de aguacate están adoptando para adaptarse al cambio climático. Estas prácticas se destacan únicamente con fines ilustrativos y no han sido validadas en el terreno por la FAO ni avalados oficialmente.



Cuadro 8. Lista de prácticas de adaptación climática y peligros y repercusiones climáticas que abordan

Amenazas climáticas e impactos	Liuvias intensas	Cambios en los patrones de lluvia	Calor extremo	Heladas	Vientos fuertes	Granizadas	Aumento de las temperaturas	Escasez de agua	Sequías	Erosión del suelo	Radiación solar	Propagación de pestes	Reducción de polinizadores	Alterancia productiva
Agroforestería	X		X	X	X				X	X	X	X	X	X
Sistemas de protección anti-heladas				X										X
Sistemas de drenaje	X	X								X				X
Sistemas de alerta temprana	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X		X
Manejo integrado de plagas							X			X	X	X	X	
Gestión integrada del agua agrícola	X	X	X		X			X	X	X		X		X
Acolchado y cultivos de cobertura	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X
Fertilizantes orgánicos	X	X						X	X	X			X	X
Fitomejoramiento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Protección de polinizadores y apicultura							X	X	X	X		X	X	
Mallas de sombreado			X	X	X	X					X			X
Gestión forestal sostenible	X	X	X	X	X		X		X	X		X	X	X
Manejo de residuos										X		X		
Sistemas de riego eficientes en el uso del agua		X	X	X				X	X	X				X
Cortina rompevientos y cercas vivas			X	X	X	X			X	X		X	X	X

Nota: Puede hacer clic en las diferentes prácticas para más detalles.



4.1 Agroforestería

Riesgos y efectos climáticos abordados: viento fuerte, calor extremo, viento, lluvias intensas, erosión del suelo y deslizamientos del terreno. El microclima generado por la presencia de árboles y cubierta vegetal también puede ayudar a minimizar los efectos de las **sequías** y las **heladas**. Estos sistemas también pueden contribuir al **control de plagas, proteger a los polinizadores** y hacer frente a **ciclos de producción alternante**. Los beneficios colaterales incluyen la diversificación de la producción, lo que puede generar una fuente adicional de ingresos para los productores en caso de una reducción de la calidad y del rendimiento de la producción de aguacate. La agroforestería puede reducir el uso de insumos externos como fertilizantes y pesticidas.

La práctica:

La agroforestería es una técnica de combinar especies de flora¹⁰ con el sistema de producción predominante, en este caso, la producción de aguacate. Los sistemas agroforestales están diseñados para crear beneficios comunes que nacen de la interacción entre las diferentes especies sin crear competencia entre ellas. La asociación optimiza la biodiversidad y otros factores, incluidos los servicios ecosistémicos (ciclo de elementos nutritivos y agua), mejora la calidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, y mejora el manejo de plagas y enfermedades (Lugo, 2018). Se recomienda la implementación de sistemas agroforestales en áreas degradadas aptas para la agricultura y/o actividad forestal (silvicultura) con el fin de recuperar áreas forestales sin la necesidad de sacrificar la producción de aguacate.

Los beneficios ecosistémicos de la agroforestería también incluyen la reducción del riesgo de desastres. La presencia de árboles y arbustos promueve el anclaje (estabilización) del suelo y reduce los deslizamientos del terreno producidos por tormentas fuertes, lo que lleva a menores daños y pérdidas en infraestructura y cultivos. Esto también resulta en ahorros asociados con inversiones costosas en infraestructura, como zanjas de drenaje o alcantarillas pluviales (Schick *et al.*, 2018). Los estudios han demostrado que la plantación de árboles y arbustos entre los cultivos y alrededor de parcelas puede ayudar a prevenir la erosión del suelo, restaurar la fertilidad y proporcionar sombra a los cultivos. La presencia de una mayor densidad de biomasa gracias a las plantas perennes también tiene el potencial de promover la absorción de carbono, compensando y mitigando así algunos de los efectos del cambio climático (Oloo *et al.*, 2013).

Las plantaciones de aguacate que incorporan prácticas agroforestales pueden ser más productivas y económicamente más rentables que los sistemas de monocultivo. Un análisis realizado en México mostró una mayor relación beneficio-costos en el sistema agroforestal (aguacate–guayaba–café) en comparación con las plantaciones de monocultivos (Montiel-Aguirre *et al.*, 2008). En Etiopía,

¹⁰ Los pequeños rumiantes o las aves de corral también pueden integrarse en los sistemas, pero la introducción de animales no se cubre en este documento debido a la naturaleza de los sistemas de producción analizados.

Honduras y el sur de California, el cultivo intercalado de aguacate con café cultivado a la sombra también ha mostrado un buen desempeño en términos de productividad y rentabilidad (Biazin *et al.*, 2016; Seed Change, 2018; Montiel-Aguirre *et al.*, 2008).

Sin embargo, es importante destacar que la productividad ecológica de los sistemas agroforestales está estrechamente relacionada con el diseño del sistema, es decir, los tipos de especies integradas en las plantaciones de aguacate y la densidad de plantas en el terreno. Asimismo, se necesita considerar la selección de las especies dado que los niveles del dosel, la tolerancia a la sombra, y los requerimientos de nutrientes y agua varían entre el aguacate y otros cultivos, con una repercusión en el desarrollo de la planta de aguacate y el rendimiento en diferentes etapas. En áreas tropicales, especies de alto valor como el nopal (*Opuntia ficus-indica*), la mora (*Rubus fruticosus*), la macadamia (*Macadamia integrifolia*) y el cardamomo (*Elettaria cardamomum*) pueden ser consideradas para su integración en sistemas agroforestales y si es que se encuentran bien adaptadas a las condiciones agroclimáticas (Montiel-Aguirre *et al.*, 2008). En climas subtropicales y mediterráneos, la *Millettia ferruginea* (*Fabaceae*), la *Cordia africana* o teca de Sudán (*Boraginaceae*) y las especies del género *Ficus* podrían combinarse con la producción de aguacate (Biazin *et al.*, 2016).

El **Recuadro 1** destaca un ejemplo de prácticas agroforestales de Viet Nam, donde el café, la macadamia y la pimienta se han integrado en el sistema de producción de aguacate.

Recuadro 1. Introducción de sistemas agroforestales en las zonas de producción de aguacate en Viet Nam

Empresa o asociación: Anónimo

Región: Viet Nam

La cooperativa comenzó como una empresa familiar en 1991 y desde entonces, se ha expandido para servir a los mercados nacionales y regionales. La principal zona de producción de la cooperativa se encuentra en la parte norte del país, donde prevalecen los bosques y las condiciones agroclimáticas adecuadas para el cultivo de cultivos de alto valor.

La cooperativa ha asociado el aguacate (raza Antillana) con otros cultivos como la macadamia, el café y la pimienta para promover sistemas de producción más sostenibles entre los miembros de la cooperativa. Se reporta que, la diversificación de la producción agrícola ha permitido a los pequeños productores tener ingresos más estables durante todo el año, al ofrecer una mayor variedad de productos a los mercados. Esto último ha sido particularmente importante para los productores vietnamitas, ya que se espera que el precio proyectado del aguacate dentro del país disminuya en los próximos cinco años, según un estudio de mercado realizado por la cooperativa.



 La selección de plantas que se incorporarán en los sistemas agroforestales necesita una consideración cuidadosa. Como en el caso de los **rompevientos y las cercas vivas**, las especies no nativas utilizadas en la agroforestería pueden volverse invasoras si sus enemigos naturales no están presentes en el ambiente en el que se incorporan. Por ejemplo, la *Opuntia ficus-indica* es un cultivo rentable en México, pero puede convertirse en una especie invasora en regiones productoras de aguacate como Australia y Kenya. Asimismo, *Rubus fruticosus* puede ser una maleza muy agresiva en regiones no nativas productoras de aguacate, como Australia, Nueva Zelandia y Sudáfrica, e incluso desplazar a la vegetación nativa (CABI, 2019). Por lo tanto, es muy importante seleccionar especies complementarias que no compitan con los árboles de aguacate y la biodiversidad local.

Desde el punto de vista económico, deben tenerse en cuenta los costos relacionados la implementación de otros cultivos comerciales o no comerciales (por ejemplo, mano de obra, maquinaria, equipo, semillas, insumos), así como los posibles ingresos suplementarios generados por éstos, a fin de determinar la viabilidad económica del sistema.

4.2 Sistemas de protección anti-heladas

Impactos climáticos abordados: heladas. Otros beneficios son la reducción de las pérdidas de producción cuando surgen eventos de heladas.

La práctica:

Los sistemas de protección anti-heladas son prácticas y tecnologías que pueden permitir a los productores prevenir, proteger y mitigar los efectos de las heladas en los árboles y frutas de aguacate. Las prácticas y tecnologías varían ampliamente en términos de tiempo, complejidad y costo.

Al planificar un huerto, la selección de la ubicación –idealmente en áreas que no tienen historial de heladas– y el diseño de las filas de árboles pueden ser opciones simples para reducir el riesgo de heladas. Si esto es imposible debido a otras condiciones agroclimáticas, edafológicas y socioeconómicas, los productores deben asegurarse de que el lugar de producción tenga cierta pendiente y evitar plantar en los puntos bajos para evitar el impacto de fuertes corrientes de viento frío.

 Es importante considerar que, con el fin de evitar eventos de heladas, los productores pueden verse motivados a sembrar en áreas de pendientes profundas, como áreas montañosas. Sin embargo, esto puede tener consecuencias ecológicas negativas, incluido el cambio de uso del suelo, la degradación de la tierra, un mayor riesgo de desastres (deslizamientos) y el agotamiento de los recursos hídricos para la producción y las comunidades locales.

Otra opción preventiva simple, especialmente para árboles jóvenes, es el uso de cubiertas contra la escarcha. Las cubiertas deben envolver todos los lados de los árboles, incluido el dosel, para ayudar a prevenir la exposición total de los árboles (Gobierno de Australia Occidental, 2017). Las cubiertas también pueden ayudar a reducir la pérdida de calor por parte de la planta debido a la radiación inversa.

Los **sistemas de riego** pueden servir como medidas anticongelantes. Los rociadores superiores (por encima del dosel) que rocían continuamente agua sobre el árbol pueden ayudar al dosel a liberar calor a medida que el agua se convierte en hielo, evitando daños por las heladas. Este método es más efectivo en árboles maduros que en árboles jóvenes o plántulas (Remy *et al.*, 2019). Sin embargo, el riego puede resultar caro debido al costo del agua y el combustible para el bombeo o para canalización de agua hacia el área de producción. Del mismo modo, esta medida puede ser potencialmente insostenible desde el punto de vista ambiental si se necesita riego para abordar largos períodos de heladas (por ejemplo, helamiento de siete horas), lo que podría requerir grandes suministros de agua para la pulverización constante (Remy *et al.*, 2019). El uso de riego antes de las heladas predichas también puede prevenir daños severos en los árboles, ya que los suelos húmedos absorberán y liberarán más calor que los suelos secos (Gobierno de Australia Occidental, 2017).

La aplicación de **soluciones protectoras contra las heladas** son otra opción con potencial de uso en plantaciones de aguacate. Estas son aplicadas a través de pulverización y se han probado en frutas como uvas y cerezas dulces. La aplicación de nanocristales de celulosa demostró una mejora en la resistencia al frío de los brotes reproductivos de las dos frutas de 2 °C a 4 °C (Alhamid *et al.*, 2018). Sin embargo, se requiere más investigación sobre uso de estas tecnologías en los huertos de aguacate para probar su eficacia y seguridad en la producción y el comercio de este producto.

Los sistemas de ventilación consisten en la implementación de ventiladores industriales (horizontales o verticales) que mezclan el aire frío dentro del dosel con aire más caliente del nivel superior, aprovechando la inversión térmica que ocurre durante las noches frías (Bar-Noy *et al.*, 2019). Por lo tanto, la ventilación no crea aire caliente, sino que redistribuye el calor ya presente en el aire. El ventilador horizontal extrae aire más caliente del nivel superior y lo dirige al nivel del suelo hacia las plantas, mientras que el ventilador vertical toma el aire frío del nivel del suelo y lo empuja hacia arriba. Un estudio realizado en Israel mostró que las máquinas horizontales podrían aumentar las temperaturas en alrededor de 2,4 °C y 1,82 °C cuando se encontraban a 20 y 125 metros de los árboles, respectivamente. Aunque estos sistemas proporcionan cierto grado de protección contra las heladas, requieren una orientación muy cuidadosa del viento y la distancia de los árboles para evitar los riesgos asociados con la caída de brotes y flores en fase de inflorescencia (Bar-Noy *et al.*, 2019). El **Recuadro 2** destaca el uso de sistemas anti-heladas en Chile y los desafíos enfrentados para reducir el efecto de estos eventos.

Recuadro 2. Uso de sistemas anti-heladas en Chile

Empresa o asociación: Anónimo

Región: Chile

A lo largo del tiempo, las heladas han sido una amenaza recurrente para la producción de aguacate en Chile, pero en los últimos años estos eventos han sido cada vez más difíciles de predecir en muchas regiones, incluida la sexta región, una de las principales zonas productoras. La imprevisibilidad de los riesgos ha hecho que los productores sean menos capaces de prepararse contra este tipo de amenaza.

Para responder a estos desafíos, la empresa productora de aguacate reconoció el uso de métodos contra las heladas como la ventilación fría y caliente, agregando agua caliente. Estos sistemas han permitido cierto nivel de control contra las heladas que se pueden pronosticar. No obstante, también se señaló que contar con métodos o tecnologías permanentes, especialmente para hacer frente a las heladas inesperadas, daría lugar a costos muy elevados para los productores.

Por lo tanto, la compañía resaltó la necesidad de mayor investigación sobre tecnologías o prácticas más asequibles para ayudar a pronosticar y recibir alertas tempranas sobre heladas “fuera de temporada”, para permitir que los productores estén preparados cuando ocurran eventos inesperados de heladas.

El uso de variedades de aguacate **resistentes a las heladas** también puede proporcionar protección adicional a los productores. A pesar de la necesidad de más investigación para la creación de plantas mejor adaptadas a temperaturas bajo cero (ver sección sobre **fitomejoramiento**), algunas especies de aguacate, incluidos los híbridos, exhiben características que los hacen más resistentes a las bajas temperaturas y las heladas. Algunos de estos se describen en el **Cuadro 9** (Universidad de California, 2023). Es importante tener en cuenta que la duración de las temperaturas bajo cero también jugará un factor determinante en el grado de lesión causado al cultivo.

Cuadro 9. Variedades de aguacate más resistentes al estrés por frío y las heladas

Variedad	Variedades típicas	Temperatura crítica por debajo de la cual las frutas y/o los árboles están sujetos a daños	Temperatura crítica por encima de la cual las frutas y/o los árboles están sujetos a daños
Mexicana	Duke, Topa topa, Mexicola, Zutano, Bacon	-3,8 °C / 25 °F	38 °C / 100°F
Híbridos	Fuerte, Puebla	-2 °C / 28 °F	29 °C / 84°F
Guatemalteca (Tierna)	Ryan, Hass, MacArthur, Nabal, Endranol, Rincon	-1,6 °C / 29 °F	33°C / 91°F

Variedad	Variedades típicas	Temperatura crítica por debajo de la cual las frutas y/o los árboles están sujetos a daños	Temperatura crítica por encima de la cual las frutas y/o los árboles están sujetos a daños
Guatemalteca (Muy tierna)	Anaheim, Dickinson, Carlsbad, Challenge, Hellen	-1,1 °C / 30 °F	34°C / 94 °F

Fuente: Adaptado de la **Universidad de California**. 2023. Manual del aguacate. Consultado el 13 de febrero de 2023.

4.3 Sistemas de drenaje

Riesgos climáticos abordados: prevención de daños a las plantas y raíces de aguacate por **fuertes lluvias e inundaciones**. Otros beneficios incluyen la reducción de la erosión. Estos sistemas también pueden ayudar a los productores a evitar la **producción alternante** mediante la gestión de los niveles de humedad. Conjuntamente, estos beneficios podrían conducir a mayores cantidades de fruta de calidad suprema¹¹ con potencial de exportación. Un mejor drenaje también puede **reducir la incidencia** de patógenos, en particular patógenos fúngicos que atacan las raíces de aguacate como *Phytophthora cinnamomi*. Esto puede resultar en una menor necesidad de fungicidas, reduciendo los costos de producción y la repercusión ambiental. Algunos métodos de drenaje superficial también pueden promover la infiltración y la recarga de aguas subterráneas, reduciendo los problemas de **déficit de agua**.

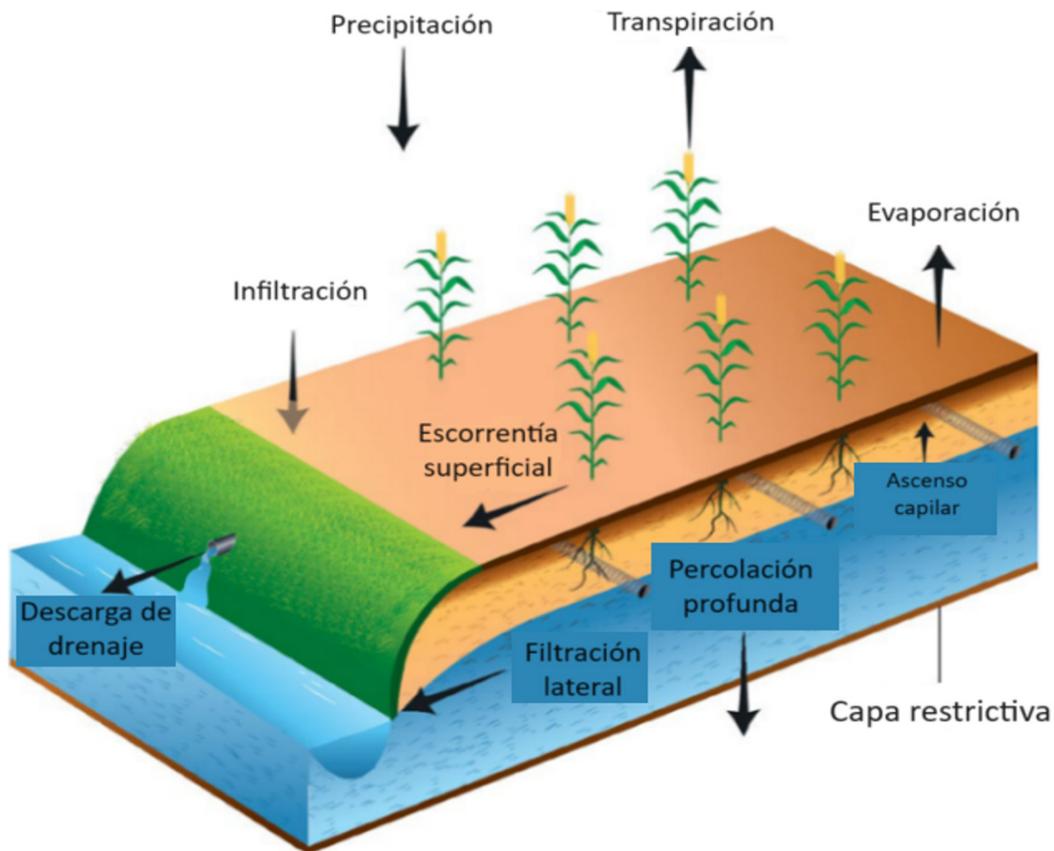
La práctica:

El drenaje del agua en la agricultura se lleva a cabo mediante sistemas que interceptan y canalizan el exceso de agua causado por las lluvias intensas y la eliminan en un lugar seguro (por ejemplo, embalse, estanque, estación de tratamiento de agua). El agua se transporta rápidamente mediante canales superficiales o subterráneos utilizando la gravedad y de manera que evita la erosión del suelo.

El **drenaje superficial** desvía el exceso de agua de la superficie del suelo directamente a los arroyos, reduciendo la cantidad de agua que se moverá dentro y posiblemente a través del suelo. Las zanjas de contorno y los terraplenes en líneas de nivel son ejemplos de técnicas simples que podrían actuar como drenaje superficial para ayudar a controlar la escorrentía, redirigir y distribuir el agua a una velocidad adecuada que no cause erosión del suelo. Las medidas de drenaje superficial también pueden promover la infiltración de agua en el suelo. Por otro lado, el **drenaje subterráneo** utiliza zanjas y tuberías de drenaje para recolectar agua y desviarla a los arroyos. Estos sistemas podrían ser más adecuados en suelos saturados (Fausey, 2005), como se ve en la **Figura 12**.

¹¹ La clase suprema se refiere a la calidad más alta que puede ser alcanzada. Normalmente, la calidad de la fruta es categorizada como: Clase extra (suprema), clase I y clase II.

Figura 12. El ciclo del agua en un campo con drenaje subterráneo



Fuente: **Ghane, E.** 2018. *Drenaje agrícola*. Universidad del Estado de Michigan.

Los drenajes topo o drenajes por arado-topo son un ejemplo de drenaje subterráneo, que se puede utilizar como una medida a corto plazo y de bajo costo para eliminar el exceso de agua del campo. Estos se encuentran compuestos por canales sin revestimiento en el subsuelo que actúan como desagües de tuberías. La principal ventaja de los drenajes topo son los bajos costos de implementación en comparación con otros sistemas subterráneos. En cuanto a la durabilidad, los drenajes topo pueden durar hasta cinco años o más dependiendo de la idoneidad del suelo (Ghane, 2018).

Los sistemas de irrigación superficial y de subsuelo pueden combinarse en el mismo terreno y deben implementarse en tierras donde la escorrentía se pueda eliminar de manera segura (es decir, no en tierras planas), sin causar erosión del suelo y contaminación de los recursos hídricos. La gestión de la capa freática se adapta mejor a las tierras planas y se puede lograr mediante una simple modificación de la salida de los sistemas de drenaje subterráneos. Esto es necesario, ya que mantener un nivel freático alto significa que hay poco espacio en la estructura del suelo para almacenar el agua extra causada por la lluvia excesiva. De hecho, si el nivel freático se mantiene a la profundidad máxima, cualquier agua adicional no sería bienvenida (Lang *et al.*, 2023).

El tamaño del sistema de drenaje dependerá de la profundidad de la capa freática (es decir, la superficie superior del área llena de agua en el suelo, o “zona de saturación”) y el volumen máximo de agua a eliminar. El diseño del sistema de drenaje requiere conocer las propiedades físicas del suelo (textura, humedad gravimétrica, infiltración, densidad aparente, entre otras), y la orientación de los árboles de aguacate y la pendiente (Polón *et al.*, 2011). Esto permitirá adaptar el sistema en función de las necesidades específicas del terreno. El **Recuadro 3** destaca cómo una empresa de aguacate en Colombia ha implementado una combinación de medidas de drenaje superficial y drenaje subterráneo para manejar los impactos de las fuertes lluvias asociadas con el fenómeno de La Niña.

Recuadro 3. Uso de sistemas de drenaje por una empresa de aguacate en Colombia

Empresa o asociación: Cartama

Región: Colombia

Las áreas de producción de aguacate en Colombia se han visto afectadas por el aumento de las precipitaciones, acompañado de eventos climáticos como La Niña. Para abordar el exceso de agua provocado por estos eventos y evitar que los huertos se inunden y sufran por encharcamientos, Cartama comenzó a modificar los diseños de siembra de los huertos de aguacate. Por una parte, la compañía ha aumentado la distancia entre los árboles de aguacate y ha desarrollado curvas de nivel para reducir la escorrentía de agua en las plantaciones. Por otra parte, Cartama ha establecido un drenaje profundo con un sistema de bombeo para mover el agua fuera del área de producción para reducir el exceso de agua generada por las fuertes lluvias.

La empresa reportó que las prácticas han tenido un efecto positivo en la protección de la salud del suelo, a través de la reducción de la erosión de la capa superficial del suelo y la escorrentía. Las medidas adoptadas han contribuido a evitar deslizamientos de tierra en las zonas productivas, protegiendo así también los árboles de aguacate y la infraestructura.



Es importante tener en cuenta que tanto los sistemas de drenaje de sistemas superficiales como los subterráneos requieren mantenimiento y monitoreo constante para garantizar su correcto funcionamiento. Esto también es necesario para mitigar cualquier posible efecto negativo sobre la producción y los ecosistemas. Por ejemplo, la eliminación inadecuada del exceso de agua puede contaminar las corrientes de agua dulce a través de la escorrentía de fertilizantes, transportando nitrógeno a las aguas superficiales río abajo y promoviendo potencialmente la pérdida de fósforo del suelo (Mendes, 2021). Además, el control inadecuado de la velocidad del agua al momento de la eliminación podría promover la erosión de la capa superior del suelo. Por ello, los suelos altamente erosionados podrían no ser adecuados para implementar métodos de drenaje superficial, ya que pueden agravar estas tendencias.



Al diseñar sistemas de drenaje para huertos de aguacate, es aconsejable comenzar con medidas de superficie más simples (por ejemplo, como zanjas de contorno y arado de línea clave) y complementarlas con el menor número posible de canales de drenaje. La implementación de sistemas de drenaje subterráneo implica mayores costos de inversión de las empresas que los métodos superficiales. Del mismo modo, la presencia de canales de drenaje transversales en parcelas puede complicar el uso de maquinaria y el acceso a las tierras de cultivo (ONU Medio Ambiente, 2015).

4.4 Sistemas de alerta temprana y sistemas de seguimiento

Riesgos climáticos abordados: los sistemas de alerta temprana se puede utilizar para pronosticar cualquier tipo de riesgos climáticos o bióticos, como las plagas.

La práctica:

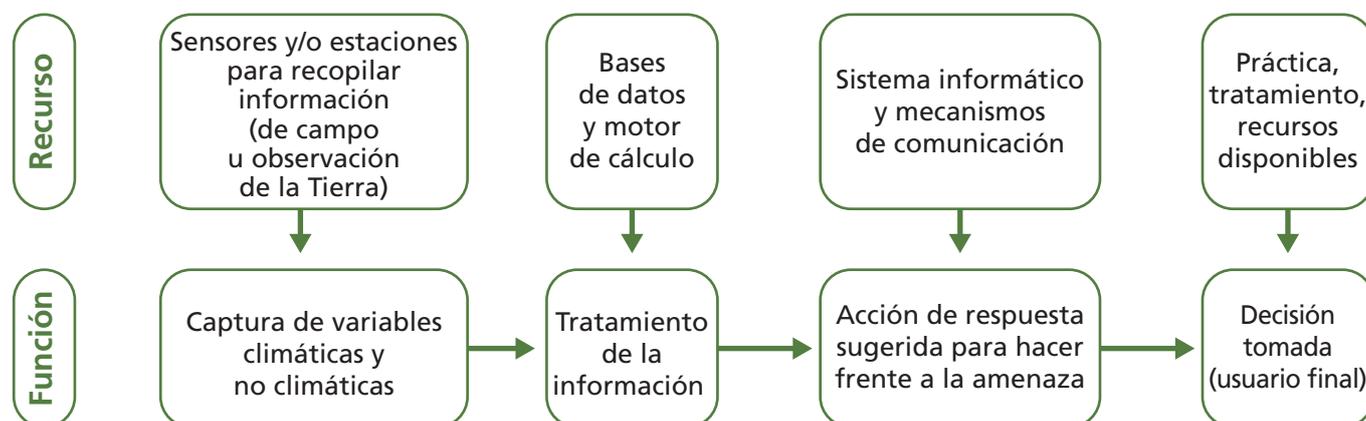
Los sistemas de alerta temprana (SAT) son una medida clave para la adaptación al cambio climático. Los SAT utilizan sistemas de comunicación integrados que pueden ayudar a los productores a prepararse para eventos esperados o inesperados de manera oportuna, para eventos relacionados con el clima o eventos no climáticos, como brotes de plagas y enfermedades. Un SAT exitoso permitirá a los productores tiempo para proteger su producción de posibles pérdidas, reducir los daños en la tierra y la infraestructura, en algunos casos, salvar vidas. Los SAT apoyan la sostenibilidad y la resiliencia a largo plazo del sistema de producción.

Para ser eficaz y completa, el SAT debe incluir cuatro elementos clave (UNDRR y OMM, 2022):

- **Conocimiento sobre los riesgos que enfrentan los sistemas de aguacate.** Esto se basa en la recopilación sistemática de información (por ejemplo, precipitación, temperatura y humedad relativa, condiciones del suelo) y la evaluación de riesgos en la producción y áreas cercanas, incluidas variables climáticas relevantes para la predicción de heladas, sequías, lluvias intensas, entre otras. La información sobre el comportamiento de los mercados también puede y debe ser monitoreada en sistemas de producción enfocados a la venta nacional e internacional. Esta información puede incluir la evolución de los precios de los insumos, precios de exportación, tipo de cambio, entre otros.
- **Detección, monitoreo, análisis y pronóstico** de peligros y los posibles efectos de estos en el sistema de producción (daños a los cultivos, infraestructura), incluidos otros factores socioeconómicos (por ejemplo, pérdidas de ingresos, riesgos para la salud).
- **Difusión y comunicación efectivas** de la alerta de manera oportuna, precisa y procesable. La advertencia debe ir acompañada de información sobre la probabilidad de que el evento se materialice y la repercusión.
- **Capacidad de respuesta** de los productores y otros actores involucrados para responder a la alerta.

El SAT puede obtener datos de diferentes fuentes, incluidas estaciones meteorológicas a nivel de campo, observación de la tierra a través de información geoespacial o métodos de pronóstico tradicionales disponibles en diferentes regiones (véase la **Figura 13**).

Figura 13. Flujo de información en un sistema de alerta temprana



Fuente: **Pérez Galarce, F.** 2016. Sistemas de alerta temprana para el control de alternaria en tomate. *Villa Alegre*, 338.

La evidencia sigue siendo limitada sobre el uso de SAT en la producción de aguacate; sin embargo, los estudios sobre otros cultivos han demostrado los beneficios potenciales de utilizar la detección temprana y la alerta de peligros climáticos y no climáticos. En Colombia, se realizó un estudio para detectar cómo se podrían utilizar los sistemas de alerta temprana para identificar el riesgo del complejo de marchitez del aguacate. Se desarrolló una plataforma de vanguardia para recopilar datos diarios sobre precipitación, temperatura y humedad relativa en el ambiente, así como la humedad y la temperatura del suelo. La información recopilada se utilizó para predecir la probable incidencia de marchitez en función de estas variables y producir un mensaje de advertencia para los productores y asesores técnicos a través de teléfonos móviles. La advertencia no solo pretendía prevenir daños por la enfermedad, sino que también mejorar el monitoreo en tiempo real y el diseño de las plantaciones. Los resultados indicaron que el sistema fue capaz de evaluar más del 70 % de la dinámica temporal de los factores causantes de la enfermedad, lo que permitió a los productores tomar medidas preventivas (Ramírez Gil, Giraldo Martínez y Morales Osorio, 2018). Sin embargo, aún se necesitan esfuerzos para mejorar la precisión de las predicciones para ayudar a los productores a prevenir y prepararse para riesgos futuros y minimizar las pérdidas en la producción y los ingresos.

En otro ejemplo de uso de SAT, un proyecto en Zimbabwe proporcionó mensajes de alerta temprana y pronóstico del tiempo a los agricultores dos veces por semana para coincidir con el período de pronóstico de tres días del Departamento de Servicios Meteorológicos (FAO, 2022). Los mensajes se entregaron a través de radio o mensajes de texto (SMS), proporcionando información sobre las condiciones climáticas para los siguientes tres días. Cuando se pronosticaron eventos climáticos extremos, se transmitieron mensajes especiales para permitir a los productores tomar medidas anticipatorias. Los resultados mostraron que el SAT ayudó a los agricultores a tomar decisiones



agrícolas importantes, como posponer la aplicación de fertilizantes cuando recibieron la notificación a través de SMS de que se esperaban altas temperaturas y no lluvia para los días siguientes. Otros productores pudieron acelerar la cosecha de sus cultivos para evitar daños por humedad, después de recibir una advertencia de las próximas lluvias.

Un estudio en Níger mostró que el 82 % de los agricultores que recibieron información climática o meteorológica los ayudaron a implementar acciones para mitigar posibles desastres en la producción de trigo causados por las sequías. La información recibida también permitió al 64 % de los agricultores ajustar sus inversiones de acuerdo con el perfil de la próxima temporada de lluvias. El uso de información climática y consejos relacionados condujo a un aumento de aproximadamente 10 sacos de 100 kg en la producción anual de mijo por agricultor, lo que representa un aumento de ingresos de aproximadamente 73 000 CFA (o 118 USD)¹² de una tierra agrícola promedio de 3 ha. A nivel comunitario, la alerta temprana también tuvo importantes efectos socioeconómicos, ya que permitió una mejor gestión de semillas e insumos, y planificar la migración estacional (Seydou *et al.*, 2023). Esto podría tener implicaciones particularmente importantes en las áreas productoras de aguacate que dependen de la mano de obra migrante nacional o internacional en la producción y cosecha de aguacate.

La detección temprana de los posibles efectos adversos del estrés biótico y abiótico también se puede hacer a través de métodos relativamente más simples. Un estudio en Japón mostró que cultivar pocos cultivos o plantas que son particularmente sensibles al riesgo dado, en este caso la deficiencia de calcio (quemadura de punta) en lechuga, podría actuar como un sistema de alerta temprana para rescatar el cultivo principal en el cual se producirá la quemadura de punta unos días después. El estudio mencionó que gracias a los primeros signos de quemadura de punta en el cultivo indicador, se aplicó fertilización con calcio, lo que llevó a un aumento de los rendimientos en un rango de 4 % a 70 % (Uno *et al.*, 2016). Para cultivos perennes como el aguacate, la selección de un cultivo indicador podría ser más difícil que en los cultivos anuales. Sin embargo, la identificación del cultivo indicador puede realizarse a través de cultivos asociados o intercalados con la plantación principal, o mediante cultivos presentes en las áreas que rodean el área de producción principal.

Es importante tener en cuenta que para desarrollar y mantener un SAT se requiere una fuerte participación de una variedad de actores, incluidos el gobierno, instituciones de investigación y las comunidades locales. Asimismo, la participación de los productores de aguacate en el desarrollo y diseño de estos sistemas es crucial para garantizar su relevancia. La colaboración con la investigación y otras instituciones públicas es fundamental, ya que la cantidad de datos generados por los sistemas debe analizarse y procesarse para producir información confiable para la toma de decisiones. Los mensajes de alerta temprana también deben evaluarse regularmente y de manera conjunta con los productores y asociaciones de aguacate con el fin de garantizar que la información proporcionada

¹² Tipo de cambio utilizado: 1 USD = 0,0016 CFA (3 de Marzo de 2023)

esté dirigida a sus necesidades y de que se tomen medidas de respuesta efectivas después de la recepción de información.

4.5 Manejo integrado de plagas

Riesgos y efectos climáticos abordados: la práctica no aborda directamente las amenazas climáticas, sino más bien los efectos del **aumento de las temperaturas** y **la humedad** en algunas regiones que traen **plagas y enfermedades** nuevas y/o más persistentes. Los beneficios colaterales incluyen la reducción en el uso de productos químicos altamente tóxicos. Esto también puede conducir a la **protección de los polinizadores**, lo que podría resultar en mayores rendimientos.

La práctica:

El manejo integrado de plagas (MIP) es una práctica agroecológica que consiste en la combinación de varias prácticas agronómicas –rotación y asociación de cultivos, control mecánico y biológico– para gestionar las plagas y enfermedades. Los patógenos que se pueden manejar por medio del MIP incluyen hongos (por ejemplo, *Phytophthora cinnamomi*, *Raffaelea lauricola*), bacterias, insectos, ácaros, vertebrados y malezas que dañan las plantas de aguacate y las frutas en las etapas de pre y postcosecha como se discutió en el **Capítulo 3**. El MIP también ayuda a reemplazar o minimizar el uso de pesticidas y herbicidas sintéticos (Garming y Waibel, 2005) y los riesgos negativos asociados para la salud humana y el medio ambiente.

Para la **asociación de cultivos**, los productores pueden introducir plantas repelentes de malezas invasoras, insectos y patógenos maliciosos. Algunos ejemplos utilizados en la agricultura para la defensa contra los fitófagos son la sabadilla (*Schoenocaulon officinale*), albahaca (*Ocimum basilicum*), menta (*Mentha* spp.), lavanda (*Lavandula* spp.), salvia (*Salvia* spp.) y tomillo (*Thymus* spp.) (Moore et al., 2006).

Las plantas atrayentes, por otra parte, también se pueden integrar para atraer insectos beneficiosos que pueden servir como depredadores naturales a los patógenos del aguacate y ayudar a aumentar la presencia de polinizadores. Algunas de estas plantas son: lantana (*Lantana camara*), frijol de palo o guandú (*Cajanus cajan*), trébol blanco (*Trifolium repens*), cáñamo marrón (*Crotalaria juncea*), maní o cacahuate forrajero (*Arachis pintoii*), lavanda (*Lavandula* spp.) o salvia (*Salvia* spp.).

La **rotación de cultivos** no es factible para los huertos de aguacate dado que son cultivos perennes; sin embargo, la rotación de cultivos de cobertura y la asociación de cultivos pueden mejorar la biodiversidad en las fincas, proporcionando protección contra plagas al sistema de producción (Dufour, 2015). Consulte también las prácticas sobre **cultivos de cobertura** y **agroforestería** en este documento para más detalles. La **Figura 14** ilustra el uso de la rotación de los cultivos de cobertura en las plantaciones de aguacate en el Perú.

Figura 14. *Cajanuns cajan* utilizado como cultivo de cobertura y para atraer polinizadores en un huerto de aguacate en el Perú



© Westfalia Perú, 2022.

Los **métodos de control biológico** se refieren a las prácticas utilizadas para controlar las enfermedades mediante la inhibición de patógenos de plantas, la mejora de la inmunidad de las plantas y la modificación del medio ambiente a través de los efectos de microorganismos beneficiosos, compuestos derivados de hongos y bacterias o sistemas de cultivo saludables (He *et al.*, 2021). Según Lahlali *et al.* (2022) se ha encontrado que agentes biológicos como *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Burkholderia* spp. y *Trichoderma* sp. son beneficiosos en la lucha contra patógenos que causan enfermedades foliares y transmitidas por el suelo como *Agrobacterium radiobacter*, *Erwinia* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora* spp. y *Pythium* spp. Algunos insectos pueden actuar como depredadores de pulgones, ácaros, escamas o cochinillas como la mariquita (catarina) depredadora.



Es importante destacar que la introducción inadecuada de especies o agentes para el control biológico puede tener efectos no deseados en el ecosistema, como amenazas a las especies locales y nativas, y por lo tanto debe investigarse cuidadosamente antes de la selección (Teem *et al.*, 2020).

Los métodos mecánicos se refieren a cualquier técnica de control físico, como el uso de barreras y trampas o la extracción manual de frutas y hojas dañadas. La poda es uno de los métodos mecánicos más utilizados en los sistemas de aguacate para controlar la infestación de enfermedades e insectos. Por ejemplo, la reducción del dosel puede evitar que las orugas, los tisanópteros (*trips*, *trips* o

arañuelas) o las cochinillas migren a otros árboles, mientras que reduce su supervivencia. La poda también puede ser útil para prevenir la propagación de enfermedades fúngicas. Por ejemplo, podar las ramas que están cerca del suelo puede reducir la propagación de patógenos que salpican del suelo cuando hay lluvias (Dreistadt *et al.*, 2007). Sin embargo, se necesita cuidado en el momento y el método de poda para no aumentar el riesgo de enfermedades y trastornos. Por ejemplo, se aconseja podar los árboles cuando están secos para reducir el riesgo de infección en heridas recién podadas.

Otros métodos simples para prevenir y reducir la propagación de patógenos incluyen mantener una buena higiene de maquinaria y equipo, desinfectar herramientas y minimizar el movimiento de maquinaria y vehículos entre las áreas afectadas y limpias (Martín Gil y Aranda Aranda, 2021).

Una característica clave del MIP es el monitoreo regular de los huertos para garantizar la detección temprana de plagas y enfermedades, y monitorear los cambios en sus niveles. El monitoreo de patógenos debe tener lugar durante todo el ciclo de vida de la planta de aguacate (ver **Figura 15**). En la fase de cuajado de la fruta, los productores deben estar atentos a los insectos, ácaros, escamas y escarabajos que se alimentan de hojas, y que podrían ser más persistentes en esta etapa. Durante el desarrollo de la fruta, los insectos que manchan la fruta, los escarabajos que se alimentan de hojas, los ácaros, las cochinillas, los *trips*, las orugas *loopers*, los tortricidos (*leaf roller*) y la mosca de la fruta pueden ser más frecuentes (Faber *et al.*, s.f.).

El monitoreo debe ir acompañado del correcto conocimiento e identificación de plagas, enfermedades y malezas que puedan dañar las plantaciones de aguacate, así como las plantas e insectos beneficiosos que podrían ayudar a combatir las plagas. En este paso es necesario comprender los ciclos de vida y la estacionalidad de las plagas, enfermedades y especies invasoras. La historia del huerto, incluidos los problemas de plagas y las condiciones del suelo, también es crucial para el MIP en la producción de aguacate, ya que permitirá anticipar la infestación. Este es un componente clave para mejorar la resiliencia del sistema de producción.

Figura 15. Muestreo de suelo para la recolección de fitopatógenos de raíz



© APEAM, A.C.



Recuadro 4. Ejemplo de MIP por una empresa de aguacate

Empresa o asociación: Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México (APEAM, A.C.)

Región: Michoacán (México)

El cambio climático no sólo incluye modificaciones en la temperatura o la intensidad y periodicidad de las lluvias. Uno de los efectos colaterales es el surgimiento o incremento de las plagas y patógenos. En la zona productora de aguacate en Michoacán, la última década ha mostrado un incremento importante en el daño causado por insectos plaga como los escarabajos de las especies *Xyleborus glabratus* y *Euwallacea californicus*, así como por diferentes especies de trips y ácaros. Esto aunado a la incidencia de la pudrición radicular causada por el fitopatógeno *Phytophthora cinnamomi*.

Para contrarrestar a estas plagas y patógenos, desde la Unidad de Investigación de la APEAM, A.C. se ha implementado un proyecto para el monitoreo de los escarabajos, trips, ácaros y fitopatógenos. También se busca encontrar medidas naturales para su control como enemigos naturales u organismos antagonistas. Con estos proyectos la asociación ha reportado haber logrado:

- evitar la pérdida de árboles de aguacate;
- desarrollar medidas de control sustentables y específicas para estas plagas y patógenos;
- capacitar a técnicos y productores en los avances de estos proyectos; y
- disminuir la probabilidad de ocurrencia o de grandes brotes de estas enfermedades y plagas.



Es importante tener en cuenta que el uso de prácticas de MIP puede tolerar un bajo número de plagas en las plantaciones, así como la aplicación discreta de agroquímicos. Esta última debe usarse para abordar plagas, enfermedades o malezas concretas de una manera medida y específica y solo cuando sea necesario (Dreistadt *et al.*, 2007). En algunos casos, las prácticas de MIP pueden no ser adecuadas para el control de ciertos insectos y plagas, donde puede requerirse la tolerancia cero de estas especies en los huertos para cumplir con los requisitos fitosanitarios en los países importadores.

Los programas de MIP trabajan para monitorear las plagas e identificarlas con precisión, de modo que se puedan tomar las decisiones apropiadas para el manejo, de acuerdo con la capacidad de acción (Recuadro 4). Sin embargo, esta capacidad está ligada a los recursos económicos y el conocimiento de los productores. El monitoreo y la identificación de plagas también reducen la posibilidad de que se usen pesticidas cuando no son necesarios o se usa el tipo incorrecto de estos (ICA, 2012).

4.6 Gestión integrada del agua agrícola

Riesgos climáticos abordados: sequía, lluvias intensas, cambios en los patrones de lluvia y la erosión del suelo. Otros beneficios incluyen la reducción en el uso de insumos externos, como combustible en los sistemas de riego, agroquímicos y otros beneficios sociales por la mejora en la disponibilidad de agua.

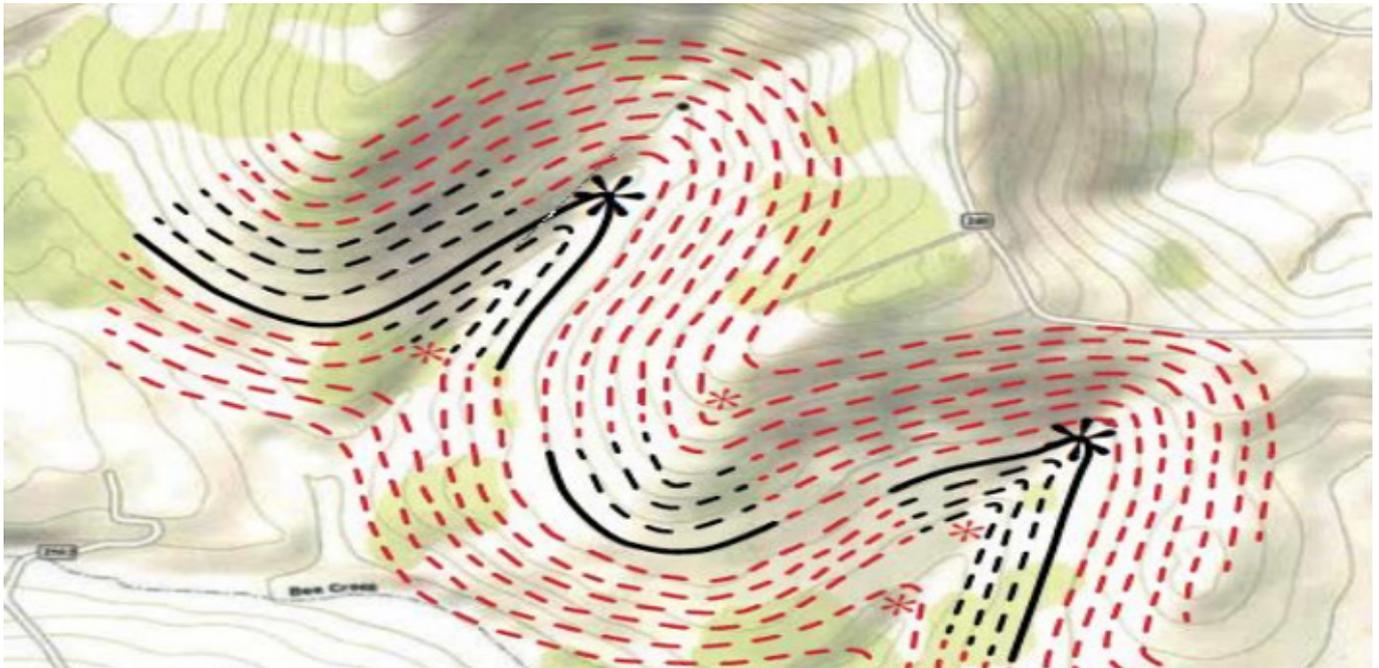
La práctica:

La **gestión integrada del agua agrícola** es un proceso que promueve el desarrollo y la gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos ligados a estos. La práctica busca maximizar la eficiencia en el consumo de agua y proteger los ecosistemas, y ampliar el bienestar económico y social de manera equitativa. La práctica tiene un importante potencial de ahorro de agua para la producción agrícola al combinar técnicas agronómicas, inversiones en infraestructura y prácticas que promueven el menor consumo de agua (Zhang y Guo, 2016).

Un ejemplo de gestión integrada del agua es la plantación en contorno, como lo es el **diseño de líneas clave o Keyline** (ver **Figura 16**). La práctica consiste en una combinación de conservación de agua y regeneración de suelos. Los sistemas están compuestos por la creación de líneas de plantación y canales creados en el suelo utilizando prácticas de labranza mínima, con el objetivo de mejorar la infiltración del agua, la aireación, reducir la erosión hídrica y estimular el crecimiento de las raíces (Bessert, 2022). El diseño *Keyline* se puede dividir en dos tipos. Arado *Keyline* que crea líneas de cultivo paralelas que consideran las características geográficas especiales que guían el agua para que fluya hacia las elevaciones más altas en lugar de acumularse en los valles. Otro tipo de diseño de líneas clave es a través de la combinación de hileras de pastoreo y de árboles, o el cultivo de laderas a través de terrazas (Johansson, Brogaard y Brodin, 2022).

La práctica busca establecer curvas de nivel de referencia que no resulten en un patrón de cultivo con demasiada pendiente que pueda conducir a la erosión hídrica. Los objetivos de la siembra de líneas clave incluyen la protección de los suelos contra los efectos de la sequía o las lluvias intensas; la distribución del agua de manera uniforme; y la conversión de los suelos en grandes depósitos de agua y sumideros de carbono. La técnica es una de las prácticas de agricultura de conservación más efectivas que ayuda a retener el suelo, aumentar la infiltración de agua y mantener la uniformidad del agua en la tierra para recuperar o mantener su fertilidad (del Carmen Ponce-Rodríguez *et al.*, 2021). Es importante señalar que la práctica no solo ayuda a abordar los riesgos hídricos relacionados con el déficit, sino que también es eficaz para drenar el exceso de agua, ambos temas particularmente relevantes para el sector del aguacate en diferentes regiones productoras.

Figura 16. Diseño *Keyline* como ejemplo de gestión integrada del agua agrícola



Fuente: **Bessert, L.** 2022. Diseño *Keyline*: gestión del agua en paisajes agrícolas: ¿clave para la agricultura regenerativa? Universidad de Kassel.

Los sistemas agroforestales son especialmente adecuados para la implementación del diseño *Keyline* (ver sección sobre **agroforestería** para la producción de aguacate). En estos sistemas, se plantan aguacates y otras especies de árboles a lo largo de las zanjas en el sitio descendente. De este modo, se mejora la disponibilidad de agua para las raíces de los árboles, especialmente en las pendientes más pronunciadas, al tiempo que se evita la erosión del suelo (Gerhardt, 2021). La práctica puede guiar el diseño de patrones de cultivo en sitios de producción específicos, así como rediseñar paisajes completos, haciéndolos más resilientes al cambio climático y sus efectos.

Aunque no hay investigaciones disponibles para la producción de aguacate, el uso de enfoques integrados para el manejo del agua en los sistemas forestales en México ha mostrado efectos positivos en la producción y la eficiencia del agua. El enfoque ha aumentado la eficiencia del uso del agua de lluvia entre 10 % y 15 % y ha contribuido a la tasa de supervivencia de las especies plantadas al reducir el estrés hídrico en el desarrollo temprano de las plantaciones de *Pinus Pseudostrobus Lindl* (Zacarías Calderón, 2017).

En general, la gestión integrada del agua agrícola incluye prácticas como (FAO, n.d.):

- Captación de agua de lluvia, conservación de suelos y aguas, uso de riego deficitario y suplementario, entre otros, con el fin de aumentar la disponibilidad de agua de lluvia disponible para los cultivos.
- Manejo del agua en la finca para minimizar las pérdidas de agua por evaporación (por ejemplo, **uso de acolchado y cultivos de cobertura, cortinas rompevientos**).

- Uso de variedades de cultivos resistentes a la sequía y alta humedad (ver sección de **fitomejoramiento**).
- Adopción de sistemas de cultivo y prácticas agronómicas mejoradas, tales como labranza mínima o arado de línea clave.
- Uso de recursos hídricos no convencionales (por ejemplo, agua de lluvia recolectada o aguas residuales tratadas) en aplicaciones no agrícolas, como la limpieza de maquinaria y equipo.
- Evaluación de patrones de lluvia para determinar la cantidad y calidad disponible para uso agrícola y diseñar sistemas de cultivo, particularmente en sistemas de producción de aguacate que crecen en combinación con otras especies (**sistemas agroforestales**, cultivos intercalados o **cultivos de cobertura**). El seguimiento de las precipitaciones también ayuda en la toma de decisiones sobre procesos específicos, como el calendario de aplicación de fertilizantes y plaguicidas.

Al adoptar un enfoque integrado para gestionar el agua agrícola, es importante conocer las propiedades del suelo y las necesidades de agua, ya que esto determinará qué prácticas agronómicas y otras obras de infraestructura podrían ser necesarias.



Antes de la adopción, es importante identificar los efectos ambientales relacionados con la implementación de la infraestructura, ya que podría generar riesgos para los ecosistemas locales. Al recolectar y almacenar agua, se necesita deliberar sobre la cantidad de tiempo en que se almacenará, el contenido de materia orgánica y otros fertilizantes transportados a través de la escorrentía y la exposición a la radiación que podría afectar las propiedades del agua con efectos negativos en el suelo y los ecosistemas.

4.7 Acolchado o mantillo (*mulch*) y cultivos de cobertura

Riesgos y efectos climáticos abordados: erosión del suelo por lluvias y vientos intensos, baja humedad, competencia con malezas para la absorción de nutrientes. La cobertura permanente del suelo también puede proteger las plántulas y las raíces de **las heladas**, de **la sequía**, de los cambios en **los patrones de lluvia** y de **los cambios repentinos de temperatura**. Otros efectos beneficiosos incluyen la mejora de la estructura y fertilidad del suelo y la reducción de la incidencia de plagas al interrumpir el ciclo de plagas mediante la incorporación de otros cultivos. Esto también puede reducir la necesidad de insumos agrícolas como fertilizantes y pesticidas, mientras que se protegen a los **insectos polinizadores**. Un buen manejo de los nutrientes mediante estas prácticas también puede ayudar a los productores a prevenir la incidencia de **ciclos de producción alternante** y reducir las emisiones de GEI.



La práctica:

Los mantillos y los cultivos de cobertura son técnicas que forman parte de la agricultura de conservación para regenerar y proteger la estructura y la salud del suelo (Oloo *et al.*, 2013).

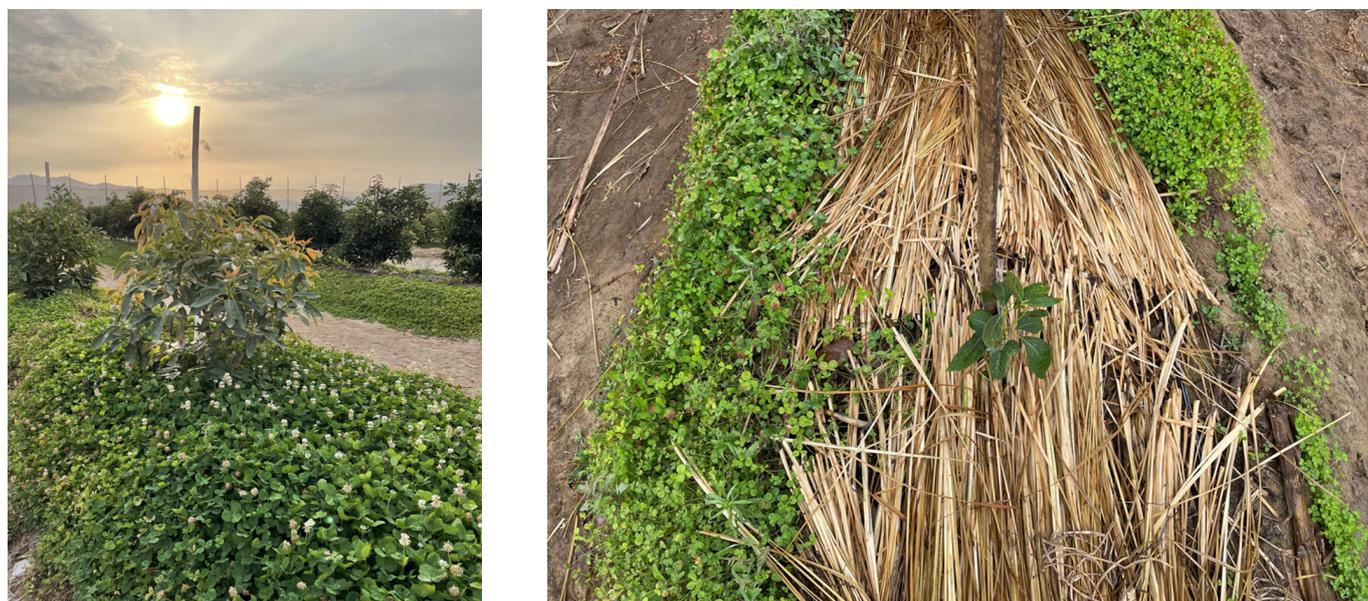
El acolchado (también conocido como *mulch* o mantillo) se divide principalmente en acolchado natural u orgánico y mantillo sintético. **El acolchado orgánico** se compone de materia vegetativa u otro material triturado (p. ej., residuos de cultivos, paja, hierba cortada u hojas) como una capa suelta de residuos de cultivos esparcidos sobre la superficie del suelo. Las hojas secas son ampliamente utilizadas en áreas forestales y áreas donde abundan los árboles, por lo que el uso de hojas podría sugerirse para el acolchado, sobre todo durante el invierno (ya que las hojas secas podrían no estar disponibles en primavera) y para las plantaciones de aguacate establecidas cerca de los bosques. Las hojas compostadas o el uso de ramas pequeñas y cortezas de madera se pueden combinar con hojas secas para mejorar la calidad y reducir la pérdida de hojas en presencia de vientos (Ranjan *et al.*, 2017). La paja también es un buen material de acolchado, ya que proporciona aislamiento, penetración de agua y control de malezas. Según Dreistadt *et al.* (2007), el uso de acolchado orgánico, como astillas de madera, puede reducir la incidencia de la pudrición de la raíz por *Phytophthora cinnamomi*, una de las enfermedades más importantes del aguacate. Los autores también mencionaron que el *mulch* puede disminuir el estrés causado por la incidencia y la gravedad de las enfermedades y trastornos, como la raya negra. La **Figura 17** ilustra el uso de paja como *mulch* para las plantaciones de árboles jóvenes de aguacate.

El acolchado sintético o inorgánico está formado por materiales, como láminas de plástico o rocas, y que no pueden ser degradados por los organismos del suelo. Aunque estas son medidas más duraderas que el acolchado orgánico, el uso de materiales sintéticos requiere cuidado en la incorporación y eliminación de plásticos para prevenir posibles efectos negativos en los ecosistemas relacionados con los desechos plásticos y la contaminación.



Las consideraciones para el uso de **acolchado orgánico** incluyen la reposición de la materia orgánica, ya que se descompone con el tiempo. Junto con ello, el costo de usar mantillos orgánicos tiende a ser bajo ya que los materiales son baratos y están disponibles localmente. El **acolchado sintético** puede ser más caro de implementar, pero es más duradero, aunque generalmente no son reciclables y por lo tanto, no son amigables con el medio ambiente.

Figura 17. Utilización de cultivos de cobertura (*Trifolium repens* L.) y *mulch* en huertos de aguacate en el Perú



© Westfalia Fruit Perú.

Los **cultivos de cobertura**, también conocidos como abono verde, son otra práctica que proporciona una protección adicional a las plantas y raíces de aguacate con beneficios adicionales para los ecosistemas. Estos cultivos son también una de las fuentes de materia orgánica rica en nutrientes más simples y económicas disponibles para los productores. Durante la fase de establecimiento de las plántulas de aguacate, los cultivos de cobertura pueden reducir la lixiviación de nutrientes en el suelo al absorber los nutrientes disponibles que aún no son accesibles para el sistema radicular naciente de los árboles de aguacate (López-Silva y Vega-Norori, 2004). En la fase de crecimiento, los cultivos de cobertura ayudan a mantener la humedad y la temperatura del suelo, controlando la erosión y suprimiendo las malezas invasoras.

Algunos de los cultivos de cobertura más utilizados en las plantaciones tropicales y subtropicales son el kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*), que se establece alcanzando lentamente la cobertura total del suelo después de 10 meses); el trébol de garrapata (*Desmodium ovalifolium*), que es tolerante a la sombra de los árboles; el cáñamo solar (*Crotalaria juncea*); la alverja o veza peluda (*Vicia villosa*); el caupí o fríjol de carita (*Vigna unguiculata*); el trébol blanco (*Trifolium repens* L.); y el maíz (*Zea Mays*). Otros cultivos podrían incluir *Arachis* sp., *Calapogonium* sp., *Mucuna pruriens*, *M. bracteata*, *Canavalia ensiformis*, *Dolichos lablab*, *Vigna radiata*, *Vigna unguiculata* y *Arachis pintoi* (Mary, 2020). Se deben priorizar especies nativas y locales para mitigar potenciales efectos negativos en los ecosistemas. La **Figura 17** muestra el uso de *Trifolium repens* L. en las plantaciones de aguacate en el Perú.



Cuando se usan cultivos de cobertura, se debe prestar atención a la selección de especies, para evitar la competencia con las plantas de aguacate o el potencial de atracción de plagas o enfermedades que pueden afectar a las raíces y a los árboles del aguacate. Además, cuando se usan estas prácticas, se necesitan monitorear los niveles de humedad de manera continua ya que la alta humedad y los suelos mal drenados pueden restringir el oxígeno en la zona de la raíz, creando un ambiente propicio para las invasiones de enfermedades y plagas.

El **Recuadro 5** proporciona un ejemplo del Perú del ensayo de varios cultivos de cobertura en plantaciones comerciales de aguacate.

Recuadro 5. Uso de cultivos de cobertura para minimizar la erosión del suelo y la evaporación del agua en el Perú

Empresa o asociación: Westfalia Fruit

Región: el Perú

Se ha observado un aumento de la salinidad, la erosión del suelo y los riesgos de sequía en la zona costera del Perú, donde se lleva a cabo la mayor parte de la producción de aguacate. Para abordar estos problemas, Westfalia Fruit Perú está probando el uso de diferentes cultivos de cobertura, como forrajes beneficiosos y plantas nativas. Algunas de las plantas utilizadas como cultivos de cobertura y los beneficios reportados son:

- Maíz (*Zea mays*): ayuda a reducir la salinidad en el suelo y cuando se agrega como mantillo de cobertura puede reducir la pérdida de humedad. Además, sirve como rompevientos para reducir el daño a los árboles.
- Guisante palomo (*Cajanus cajan*): ayuda como abono verde, al cortar el follaje y agregarlo al suelo aumenta la materia orgánica del suelo.
- Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*): es una de las mejores plantas para ser utilizada mantillo dada su capacidad de adaptación. Asimismo, esta planta ayuda a retener la humedad del suelo y reducir su temperatura.
- Trébol blanco (*Trifolium repens*): agregarlo a los lados del huerto cerca de los árboles ayuda a mantener la humedad del suelo y disminuye la temperatura del suelo.
- Cáñamo marrón (*Crotalaria juncea*): crea simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno que viven en los nódulos de las raíces; las flores también ayudan a atraer polinizadores.

El uso de leguminosas, como el guandú, el trébol blanco y el cáñamo marrón, respaldan el aumento de la disponibilidad de nitrógeno para el aguacate, lo que podría reducir la cantidad de aditivos de nutrientes requeridos en las plantaciones.

Tanto el acolchado y los cultivos de cobertura tienen efectos positivos en la estructura del suelo y el contenido de nutrientes (Oloo *et al.*, 2013). Por ejemplo, el acolchado orgánico se descompone con el tiempo, agregando materia orgánica al suelo y evitando la lixiviación de nutrientes. Los cultivos de cobertura, como las leguminosas (por ejemplo, trébol blanco, frijoles, alfalfa) ayudan a la fijación de nitrógeno, mejorando la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Ranjan *et al.*, 2017). Las leguminosas también contribuyen a la proliferación de *microhábitats* para muchos microorganismos, insectos, reptiles, roedores y aves, y favorece las poblaciones de lombrices de tierra al mejorar la aireación y la tasa de infiltración del suelo (López y Vega, 2004).

Estas prácticas también pueden ser una herramienta para el control de malezas, ya que minimizan la presencia de patógenos y plagas en el suelo, al tiempo que mejoran la presencia de organismos beneficiosos y neutralizan los contaminantes (Sarminah *et al.*, 2021). Por ejemplo, el daño por ácaros puede reducirse debido a la menor presencia de polvo y estrés por sequía provocado por la mejora de la humedad del suelo. Por último, la mejora del manejo del suelo a través del acolchado, los cultivos de cobertura y **el compost** (ver sección correspondiente), así como la optimización del número de árboles por parcela (menos árboles por hectárea) también pueden tener un efecto positivo en la productividad a través de una mejor retención de frutos (Nyakemiso *et al.*, 2021).

4.8 Fertilizantes orgánicos (compost y biofertilizantes)

Riesgos y efectos climáticos abordados: erosión del suelo por lluvias y vientos intensos, sequía, escasez de agua y cambios en los patrones de lluvia. Los fertilizantes orgánicos también pueden ayudar a minimizar los efectos de la salinización. Otros beneficios colaterales incluyen la reducción en el uso de fertilizantes sintéticos y la **protección de los polinizadores**. El buen manejo de los nutrientes también puede ayudar a los productores a prevenir la incidencia de **ciclos alternantes de producción**. Los fertilizantes orgánicos también podrían conducir a una mejor idoneidad de las tierras agrícolas que ya están cultivadas y, por lo tanto, generar una menor presión para promover el cambio en el uso de la tierra, lo cual es importante para fines de mitigación y resiliencia climática. La incorporación de fertilizantes orgánicos es en muchos casos también necesaria para cumplir con los esquemas de certificación orgánica, trayendo beneficios para comercialización en diferentes mercados.

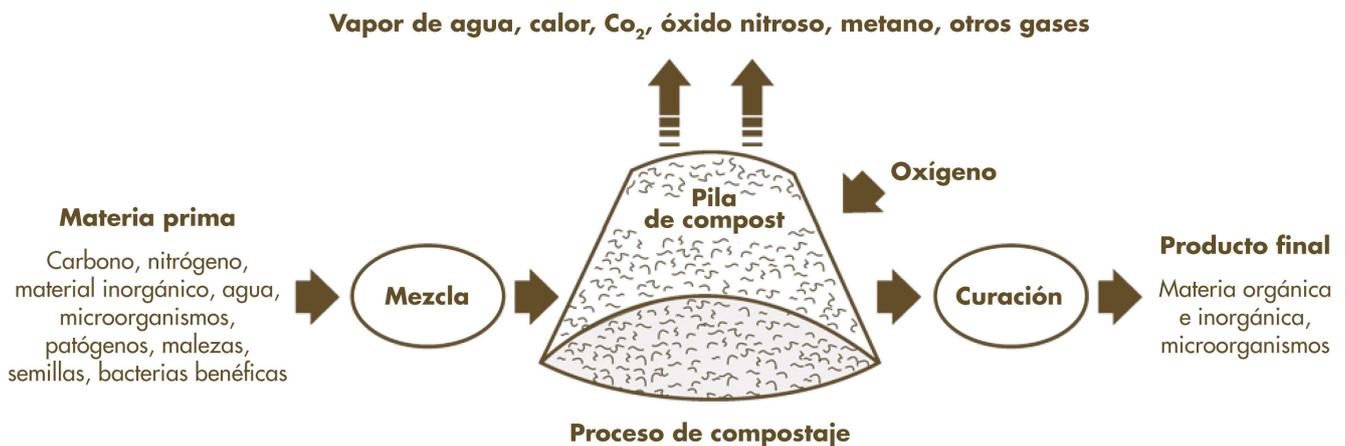
La práctica:

Los fertilizantes orgánicos se utilizan para mejorar las características físicas, biológicas y químicas del suelo. **El compost** es el fertilizante orgánico más utilizado, creado mediante el uso de residuos orgánicos de los restos de la producción y procesamiento de productos agrícolas, estiércol, purines o desechos domésticos (restos de alimentos y materia de jardín) para crear fertilizantes ricos en nutrientes. El compost también puede ser beneficioso en áreas con alta exposición a la lluvia o la erosión eólica. En la producción de aguacate, la generación de compost a partir de los residuos de la producción y de la **creación de subproductos** (por ejemplo, guacamole, aceite) pueden tener



implicaciones importantes para la reducción de residuos agrícolas (González-Fernández *et al.* 2015) y la mitigación del cambio climático. La **Figura 18** muestra los componentes básicos del proceso de compostaje.

Figura 18. Flujo de material para el proceso de compostaje



Fuente: Adaptado. **Unidad de Ingeniería Ganadera y Unidad de Prácticas Ambientales.** 2005. Manual de compostaje del estiércol. Alberta - Agricultura, alimentación y desarrollo rural. Canadá. [www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex8875/\\$file/400_27-1.pdf?OpenElement](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex8875/$file/400_27-1.pdf?OpenElement)

Los biofertilizantes se preparan con microorganismos (bacterias, hongos, algas, leguminosas, azollas, gramíneas, entre otros) que se aplican al suelo o planta. Los microorganismos se pueden clasificar en dos grupos. El primero incluye microorganismos capaces de sintetizar sustancias que promueven el crecimiento de las plantas, fijando el nitrógeno atmosférico, solubilizando hierro y fósforo inorgánicos y mejorando la tolerancia al estrés por sequía, la salinidad, los metales tóxicos y el exceso de pesticidas por parte de la planta. El segundo grupo comprende microorganismos capaces de disminuir o prevenir los efectos negativos de los patógenos (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010).

El uso de compost y biofertilizantes es una alternativa sostenible para reducir la aplicación de fertilizantes químicos y aditivos, y los efectos negativos asociados en el suelo y los cultivos (Larios Guzmán *et al.*, 2008). Los fertilizantes orgánicos construyen un sistema de suelo saludable modificando todas las propiedades del suelo, las cuales contribuyen a lograr una mayor eficacia y rendimiento de los árboles. El compost también puede mejorar la capacidad de los árboles frutales para absorber nutrientes y suministrar ácidos orgánicos y elementos que estimulan el crecimiento. En Sudáfrica, se observó que el compostaje aumenta el crecimiento de las raíces y reduce su estrés durante condiciones adversas, lo que a su vez aumenta el rendimiento de aguacate (Mohale *et al.*, 2022).

Un estudio realizado en México mostró que el número de flores y el cuajado de frutos fue significativamente mayor (en un 133 %) cuando se aplicaron fertilizantes orgánicos como Micorrizas (*Glomus sp*) o humus líquido de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*), en comparación con árboles donde se usaron fertilizantes sintéticos (Hernández-Valencia *et al.*, 2021). El estudio indicó que el mayor

contenido nutricional, especialmente boro y nitrógeno, encontrado en los fertilizantes orgánicos fueron los principales factores que contribuyeron a estos resultados. El estudio también observó rendimientos similares entre fertilizantes sintéticos y orgánicos; a pesar de ello, se obtuvieron frutos más grandes en árboles donde se utilizaron fertilizantes orgánicos. Otro estudio en Chile también muestra los efectos favorables de la inoculación bacteriana no solo para estimular el crecimiento de las plantas, sino también para mitigar los efectos de la escasez de agua y el estrés por salinización en las plántulas de aguacate (Barra *et al.*, 2017).

Los fertilizantes orgánicos son particularmente útiles en suelos que han sido sobre utilizados y presentan procesos de degradación, como bajo contenido orgánico o problemas de salinización.



Las consideraciones para el uso de fertilizantes orgánicos incluyen la preparación adecuada y la inocuidad de los productos. En el proceso de producción de compost, los niveles de humedad, nutrientes y temperatura deben ser controlados para asegurar una correcta descomposición de la materia orgánica, prevenir la presencia de patógenos y alcanzar la calidad deseada. El uso de residuos orgánicos provenientes de animales o humanos sin tratamiento adecuado previo puede plantear riesgos para la salud. Para evitar estos riesgos, el mantenimiento de altas temperaturas (60 °C a 65 °C) durante el proceso de preparación puede garantizar la inocuidad del compost (ONU Medio Ambiente, 2015).

4.9 Fitomejoramiento

Efectos climáticos abordados: estrés por calor, radiación solar, sequía, variabilidad de las precipitaciones, heladas y estrés por frío. Mediante el fitomejoramiento es posible mejorar la calidad de la fruta y reducir la perecibilidad debido a una mayor resistencia a las enfermedades posteriores a la cosecha. La reducción de los desechos antes y después de la cosecha también tiene un importante potencial de mitigación del cambio climático.

La práctica:

El fitomejoramiento es el proceso de desarrollar nuevas variedades de cultivos con los rasgos deseados, incluidas las características que pueden ayudar a las plantas a adaptarse mejor a las condiciones de estrés biótico y abiótico (**Figura 19**). El fitomejoramiento tiene el potencial de aumentar la resiliencia del cultivo frente al cambio climático. El mejoramiento de variedades con mayor resistencia a diferentes estreses puede reducir la dependencia de insumos o recursos externos, lo que a su vez puede reducir las emisiones de carbono asociadas con el consumo de combustibles fósiles y reducir los costos de producción (Brookes, 2022).

En la producción de aguacate, los programas de fitomejoramiento se han centrado en el desarrollo de portainjertos tolerantes a la pudrición de la raíz de *Phytophthora cinnamomi*, la salinidad del

suelo y los suelos calcáreos, entre otros. Los mejoradores también han concentrado sus esfuerzos en seleccionar retoños (hijuelos de cultivares) con rendimientos altos y estables (Nieto Flores, 2017), así como en proteger la calidad del producto en las etapas previa y posterior a la cosecha (Tamayo-Ramos *et al.*, 2022).

El desarrollo de plantas mejoradas es un proceso largo y costoso que requiere la participación de actores tanto estatales como no estatales. Para poner en perspectiva, de acuerdo con la Gaceta Oficial de los Derechos de Obtentor de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) de México, desde 1998 solo se han otorgado 14 derechos de obtentor y desde 2014 no se han registrado nuevas variedades. Para mantener la producción en el escenario de rápido cambio climático, los productores requieren nuevas variedades con mayor resistencia a las condiciones ambientales. Dada la urgente necesidad de acelerar la mejora genética del aguacate, es fundamental aunar esfuerzos entre los diferentes actores y utilizar las técnicas más innovadoras.

Esta sección ofrece algunos hallazgos generales de la literatura sobre el mejoramiento del aguacate para ciertos rasgos que también pueden apoyar la adaptación al clima y reducir los efectos del cambio climático en la planta. Según Tamayo-Ramos *et al.* (2022), hasta la fecha las áreas principales en las que se ha llevado a cabo el fitomejoramiento biotecnológico de aguacate que podrían abrir el camino para futuras investigaciones como lo muestra la figura **Figura 19**. Los ejemplos seleccionados no son exhaustivos ya que aún se está trabajando en esta área para desarrollar tecnologías de vanguardia para el fitomejoramiento, y la investigación sobre el desarrollo de nuevas variedades lleva tiempo. En muchos casos, la evidencia apenas se está generando.

Figura 19. Posibles rasgos del aguacate para la transformación a través del mejoramiento genético



Nota: Las áreas en las que se han desarrollado algunas investigaciones están marcadas con un asterisco (*).

Fuente: Adaptado de Tamayo-Ramos *et al.*, 2022.

El injerto es una técnica común utilizada en agricultura para mejorar las diferentes características de las plantas, como el rendimiento y el vigor, así como la tolerancia a los diversos factores estresantes. La técnica ampliamente utilizada para la propagación vegetativa, especialmente en cultivos frutales perennes (Loupit y Cookson, 2020). Los experimentos de injerto con las semillas del árbol "criollo" han demostrado proporcionar, a través de portainjertos de plántulas, hasta un 35 % de ganancia genética para rasgos de rendimiento relevantes para la variedad Hass, incluido el número total de frutos por árbol, el diámetro y la longitud de la fruta, el peso de la fruta y de la pulpa, y la ramificación (Cañas-Gutiérrez *et al.*, 2022). Además, otro estudio mostró que la variedad "Fuerte" no es un progenitor reproductor adecuado para regiones con condiciones agroclimáticas mediterráneas (Bergh, 1976). La Universidad de California (2023) también demostró que la selección de clones en huertos expuestos repetidamente al estrés por heladas puede ser un punto de partida para crear variedades más resistentes a estas.

Las consideraciones para el uso de prácticas de mejoramiento genético incluyen los costos de inversión necesarios para la investigación para la identificación de genes que proporcionan las características deseadas a las plantas de aguacate y para poner a prueba las nuevas variedades en condiciones reales de huerto. Como se mencionó anteriormente, el fitomejoramiento requiere un horizonte temporal amplio, por lo que esta práctica debe percibirse como un esfuerzo de adaptación a largo plazo. El **Recuadro 6** proporciona un ejemplo del trabajo que investigadores en México están realizando para mejorar las variedades de aguacate en el futuro.

Recuadro 6. Prácticas de fitomejoramiento en México

Empresa o asociación: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ)

Región: Jalisco (México)

Investigadores del CIATEJ de México y de la Universidad Sheffield de UK, reportaron la primera sobre-expresión genética transitoria en hojas de plantas de Aguacate, sobre-expresando un reportero para optimizar parámetros críticos del proceso. De esta forma proporcionan una nueva alternativa que apoyará el trabajo de la comunidad de investigadores que estudia esta especie, y al mismo tiempo impulsará el mejoramiento genético mediante la aplicación de biología molecular e ingeniería genética, para en un futuro cercano poder ofrecer a los agricultores nuevas variedades mejoradas que permitan responder al aumento de la demanda de forma sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Los investigadores utilizaron una estrategia de transformación transitoria, es decir, no modificaron el genoma del aguacate, ni generaron organismos transgénicos estables. Es decir, usando la biotecnología en el proceso, pero no en el producto. Los resultados fueron publicados en el artículo científico "*In-plant transient transformation of avocado (*Persea americana*) by vacuum agroinfiltration of aerial plant parts*", en la Revista científica *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* (Salazar-González *et al.*, 2023). El cual es de acceso libre para todo el público en el siguiente link: <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02436-9>



4.10 Protección de polinizadores y apicultura

Efectos climáticos abordados: la práctica no aborda las amenazas climáticas directamente, sino más bien los efectos de las **temperaturas extremas**, la **degradación ambiental** y la **pérdida de biodiversidad**, que afectan la actividad polinizadora. Un beneficio adicional de la apicultura es la provisión de una fuente alternativa de ingresos (por ejemplo, comercialización de miel, propóleos, jalea real, apitoxina y polen) que, en caso de pérdida o daño de los cultivos, puede aumentar la resiliencia general de los productores agrícolas.

La práctica:

La protección de los polinizadores es crucial en los huertos de aguacate, ya que la producción depende en gran medida de la actividad polinizadora que influye en el cuajado y los rendimientos de los frutos.

A nivel mundial, la abeja melífera occidental *Apis mellifera L.*, se reporta como el insecto con mayor actividad polinizadora del aguacate (Vasquez *et al.*, 2017) seguido de las abejas sin aguijón (*Meliponini*) y las moscas (*Calliphoridae*) (Dymond *et al.*, 2021). En México y América Central, las abejas sin aguijón y la avispa melífera mexicana (*Brachygastra mellifica Say*) fueron identificadas como los principales polinizadores. En las regiones productoras tropicales y subtropicales de África, la mosca de la letrina africana tropical (*Chrysomya putoria*), la mosca zángano (*Eristalis tenax*), las especies de moscas flotantes (*Phytomyia incisa W.*) y los polistinos (*Polistes sp.*) se han clasificado como polinizadores potenciales que complementan la polinización de las abejas melíferas (Nyakemiso *et al.*, 2021; Nyakemiso *et al.*, 2022; Sagwe *et al.*, 2022). En Nueva Zelanda, las especies de polillas (*Ichneutica mutans*, *Ichneutica ustistriga*, *Epyaxa rosearia*, *Rhaphsa scotosialis*, *Phrissogonus laticostatus*) también parecen mostrar una alta capacidad para transportar granos de polen de aguacate y podrían complementar los servicios de polinización proporcionados por las abejas (Buxton *et al.*, 2021)

Se ha observado un déficit de polinización debido a las temperaturas extremas (muy altas o muy bajas) y la gran dependencia del uso de agroquímicos, lo que afecta el tamaño de la población de polinizadores y su salud, como se discutió en el **Capítulo 3**. Sin embargo, el déficit de polinización podría abordarse mediante diferentes acciones, incluida la implementación de colonias de *A. mellifera* en huertos de aguacate y medidas de tratamiento sanitario (ver la **Figura 20** que da un ejemplo de las colonias de abejas). Vásquez *et al.* (2011) realizaron un estudio utilizando polinización directa con *A. mellifera* en cuatro variedades de aguacate en Colombia, incorporando un promedio de tres a cuatro colmenas por hectárea. Los resultados indicaron un aumento de la producción entre 21 % y 96 %. Otro estudio encontró efectos similares en el aumento del número de frutos por árbol (54 % a 68 %) después de establecer de cuatro a seis colmenas por hectárea (Peña y Carabali, 2018). El estudio encontró que la presencia de abejas también tuvo efectos importantes sobre el peso de la fruta, estimulando la producción de aguacates más pesados. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes en los productos comercializados y los ingresos para los productores.

Figura 20. Un grupo de colmenas en México



© FAO/Florita Botts.

Las consideraciones para implementar colonias de abejas incluyen la necesidad de disponibilidad de agua en las áreas que rodean los huertos de aguacate. Si no está disponible de forma natural, se deben instalar recipientes de agua para garantizar la correcta hidratación de las abejas. La vegetación que rodea las colonias y áreas de producción determinará la densidad de la colonia; sin embargo, la colocación de tres a seis colmenas por hectárea puede ser adecuadas en los huertos de aguacate (Peña y Carabali, 2018; Vásquez *et al.*, 2011). Además, la incorporación de algunas plantas, como el *Citrus* spp., y las especies de menta (*Labiatae*), margarita (*Fabaceae*) y mostaza (*Brassicaceae*) puede ser beneficiosa para atraer polinizadores hacia las flores de aguacate (Ish-Am, 2005). La posición de las colmenas debe tener en cuenta la actividad del viento, ya que los vientos fuertes pueden desafiar la capacidad de las abejas para salir y entrar en la colmena (SAGARPA, s.f.). La apicultura requiere conocimientos técnicos para la implementación de las colmenas, así como conocimientos sobre medidas de limpieza y desinfección también son necesarios para preservar la salud de las abejas.

La protección o restauración de los hábitats naturales en paisajes agrícolas podrían apoyar a las comunidades de polinizadores nativos y reducir la dependencia de las abejas para la polinización del aguacate. Esto podría hacerse, por ejemplo, a través de cambios en las prácticas agrícolas, incluida la reducción del uso de agroquímicos (véase la **sección MIP**) y la introducción de plantas que faciliten las actividades polinizadoras. Algunas de estas plantas incluyen la mostaza blanca (*sinapis alba*), el lantán antillano (*Lantana camara*), el abejón (*Senna pallida*), la yerba de zopilote o mejorano (*Ageratum conyzoides*) y el jujure (*Melanthera aspera*) (Jiménez y Arrieta, 2018), entre otras.



La selección de las especies de plantas para atraer polinizadores debe estar basada en el contexto para evitar que las especies de plantas no nativas se vuelvan invasoras. Asimismo, la introducción de especies polinizadoras no nativas puede potencialmente sobrepasar a las poblaciones de polinizadores nativos de las áreas de producción con una repercusión perjudicial en la biodiversidad local.



El **Recuadro 7** se da un ejemplo sobre los esfuerzos de una asociación en México para aumentar y preservar las poblaciones de polinizadores.

Recuadro 7. Protección de las poblaciones de polinización a través de un enfoque integrado en México

Empresa o asociación: Asociación de Productores Exportadores de Aguacate de Jalisco, A.C. (APEAJAL)

Región: Jalisco (México)

En 2018, la Asociación inició un programa de reforestación de árboles nativos alrededor del área productiva para que los productores incluyan plantas que atraigan polinizadores ayudando a la conservación de estos y aumentando la población en el área de producción. Se ha reportado que esto ha traído beneficios ecosistémicos ya que los polinizadores ayudan a la reproducción de plantas y flores, y algunas plantas atrayentes de polinizadores también permiten prevenir la erosión del suelo y mejorar la biodiversidad. En el aspecto económico, la Asociación ha notado que las abejas y otros polinizadores han ayudado a aumentar la productividad del árbol de aguacate y, por lo tanto, la cantidad de fruta con potencial para ser comercializada.

APEAJAL, a través del Comité para la Conservación de los Polinizadores de Jalisco, colabora con institutos de investigación, productores de aguacate, productores de bayas, apicultores y gobiernos municipales en la implementación de proyectos para identificar insectos polinizadores que prestan sus servicios en campos agrícolas, y en la difusión de prácticas que promueven la preservación de la población y la salud de los polinizadores en las plantaciones de aguacate.

4.11 Mallas de sombreo (o mallas sombra)

Impactos climáticos abordados: estrés por calor, radiación solar, granizo, heladas, estrés por frío y fuertes vientos. Otros beneficios incluyen la protección contra plagas voladoras (insectos, aves, murciélagos), el aumento de la producción de fruta de mayor calidad y rendimientos comercializables, y la reducción de los desechos posteriores a la cosecha. La reducción de estos desechos también tiene un importante potencial de mitigación del cambio climático, y los beneficios generales de las mallas de sombreo pueden aumentar la resiliencia del sistema. El control de la radiación solar y las altas temperaturas repentinas también pueden ayudar a los productores a minimizar la incidencia de **ciclos de producción alternante**.

La práctica:

La radiación solar en algunas regiones productoras de aguacate, como Colombia, Israel y Sudáfrica, es alta y con tendencia creciente que afecta el crecimiento y desarrollo óptimo del árbol de aguacate. Las mallas pueden proporcionar protección física a los árboles y proteger las frutas de amenazas

ambientales extremos, como la radiación solar excesiva, el viento, el granizo, las heladas o las plagas voladoras (insectos, aves, murciélagos) (Shahak, 2014). Las mallas en los huertos de aguacate también pueden mejorar la calidad de las frutas posterior a la cosecha, aumentando la vida útil y reduciendo el desperdicio (Tinyane, Soundy y Sivakumar, 2018).

Se pueden utilizar diferentes tipos de mallas en los huertos de aguacate, clasificados por color y densidad. El color tiene como objetivo manipular la calidad de la luz para estimular respuestas específicas en plantas influenciadas por la luz y la temperatura dependiendo del color utilizado (rojo, amarillo, verde, azul, blanco, gris / plata o perla). La Figura 21 muestra ejemplos de mallas de sombreado de diferentes colores. La densidad se utiliza para controlar la cantidad de luz que pasa a través de la red. Las mallas generalmente están hechas de plástico mejorado con cromóforos y elementos que dispersan y reflejan la luz solar (Sivakumar, s.f.).

La evidencia de Israel muestra que las mallas de sombreado color plata al 60 %¹³ reduce la densidad de flujo de fotones fotosintéticos en aproximadamente un 65 % (es decir, la densidad de luz directa), así como las temperaturas del aire y las hojas hasta en 4 °C en los árboles de aguacate "Pinkerton" (Alon, *et al.*, 2022). El estudio también revela que estas mallas lograron mejorar el rendimiento fotosintético en condiciones de calor extremo. Por lo tanto, la reducción de las temperaturas y la protección ofrecida por las mallas pueden reducir significativamente el daño de frutas y árboles causado por el estrés por calor. Otros estudios mostraron que cubrir los árboles de aguacate "Reed" durante el invierno con mallas plateadas al 50 % o 70 % también puede disminuir el estrés por frío en invierno (Chernoivanov *et al.*, 2022). Por consiguiente, las mallas de sombreado también pueden servir para mitigar el estrés por frío en los huertos comerciales de aguacate (ver sección sobre **sistemas de protección anti-heladas**).

¹³ El porcentaje de sombreado neto se refiere a la densidad de la red, es decir, qué tan cerradas o abiertas están para permitir que la luz pase a través de ella. Cuanto mayor sea el porcentaje, menos luz se permite pasar.

Figura 21. Mallas de sombreo para el control de la luz solar en las plantaciones de aguacate



Fuente: **Tinyane, P., Soundy, P. y Sivakumar, D.** 2018. El cultivo de frutos de aguacate ‘Hass’ bajo mallas de sombreo de diferentes colores mejora el rendimiento comercializable y afecta la maduración de la fruta. *Scientia Horticulturae*, 230: 43-49. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.020>

En Sudáfrica se encontró que las mallas de sombreo reducen la temperatura del dosel en aproximadamente 5 °C por la tarde, mientras que, en las noches de invierno bajo cero, las mallas pudieron aumentar la temperatura en aproximadamente 2 °C (Blackey *et al.*, 2015). La investigación también mostró una correlación positiva entre el uso de las mallas y una mayor humedad del suelo. Un estudio diferente mostró que las mallas azules y blancas contribuyeron significativamente a reducir la incidencia de quemaduras solares y aumentar la protección contra el viento y el granizo. Se encontró que las mallas de color rojo retrasan la maduración de la fruta y la incidencia de antracnosis después de la cosecha (Tinyane, Soundy y Sivakumar, 2018), lo que resulta en una disminución de las pérdidas posteriores a la cosecha. En general, las mallas fueron favorables para mejorar la calidad externa de la fruta, con el potencial de aumentar la producción de aguacate Hass Clase 1 / suprema en más del 10 % (Stones, van Rooyen y Köhne, 2017), ampliando así la viabilidad de rendimiento comercializable.

Sin embargo, es importante considerar que las mallas de sombra de alta densidad podrían tener efectos no deseados en el crecimiento de los árboles a largo plazo y podrían afectar los rendimientos al estimular el crecimiento vegetativo más que la productividad. Por lo tanto, el manejo del dosel (por ejemplo, a través de podas regulares), la colocación de la malla a al menos a un metro de distancia del dosel y el color y la densidad de esta deben considerarse cuidadosamente para producir los resultados deseados (Stones, van Rooyen y Köhne, 2017). El uso de mallas también requiere deliberación sobre el manejo adecuado de la polinización, ya que los árboles cubiertos pueden restringir la actividad polinizadora de las abejas y otros insectos. La introducción de abejas y la polinización de atrayentes de plantas pueden abordar este problema (ver **sección de protección a los polinizadores y la apicultura**), así como la apertura de mallas para garantizar que pueda ocurrir la actividad de polinización.

Por último, cabe señalar que, dado que las mallas están hechas de plástico, las empresas que las utilicen deben garantizar una gestión y eliminación correctas del plástico y otros materiales inorgánicos para evitar efectos ambientales no deseados.

4.12 Gestión forestal sostenible

Riesgos y efectos climáticos abordados: heladas, sequías, fuertes vientos, inundaciones, deslizamientos de tierra, lluvias intensas, variabilidad de las precipitaciones, calor extremo e incendios. Otros beneficios adicionales incluyen servicios ecosistémicos como la regulación del clima y el agua, la generación de suelo, la prevención de la erosión, la promoción del ciclado de nutrientes, la protección de los polinizadores, y la reducción de factores de riesgo que estimulan el ciclo de la producción alternante. La mitigación del cambio climático a través de la captura y almacenamiento de carbono es otra ventaja clave de la GFS. Esta práctica también ayuda a la reducción de riesgos climáticos que son más notables en las zonas fuera del área forestal gestionada, como lo es la disponibilidad de agua.

La práctica:

Si bien algunas plantaciones de aguacate ya tienen lugar cerca de tierras forestales, el cambio de uso de la tierra y la deforestación constituyen altos riesgos a medida que los productores buscan áreas más adecuadas para la producción en respuesta al cambio climático y demanda de los mercados internacionales. La gestión forestal sostenible (GFS) es una medida de adaptación que busca preservar los bosques y la biodiversidad, al tiempo que facilita las actividades productivas y el desarrollo de las comunidades locales.

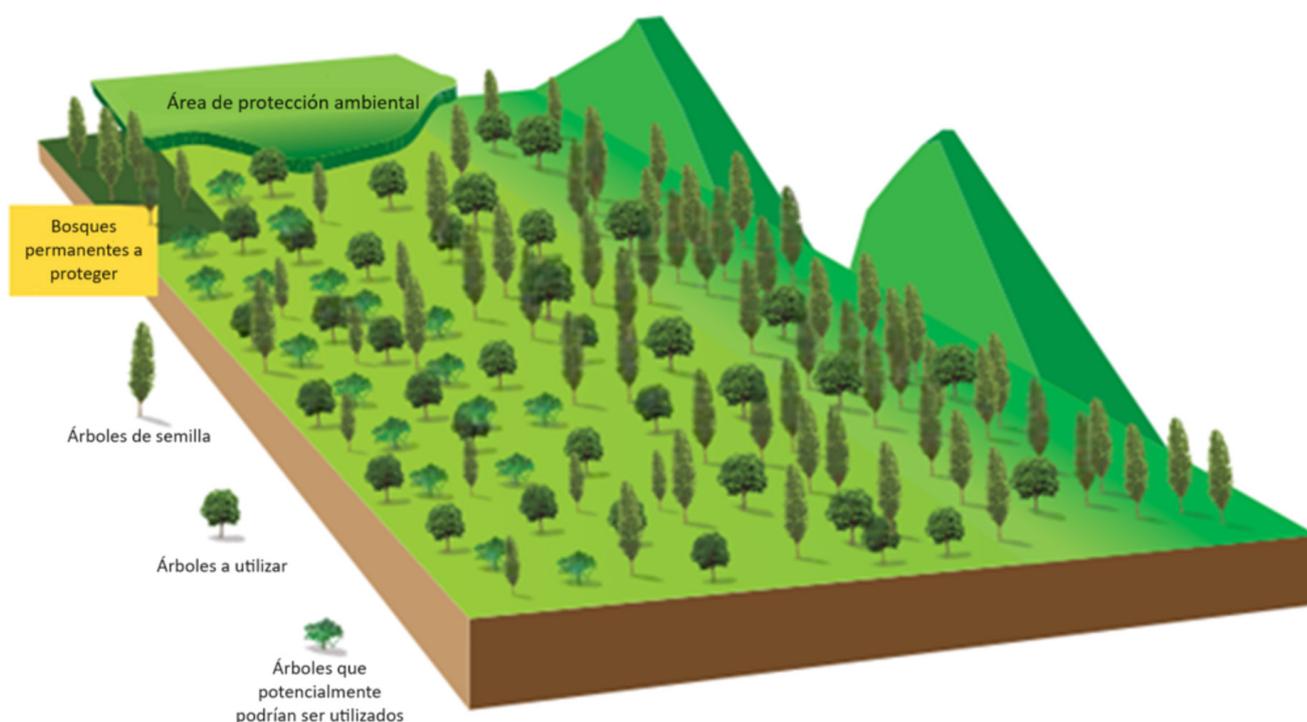
La planificación de la GFS debe tener como objetivo mantener la capacidad de los bosques para producir una gama de productos y servicios forestales madereros y no madereros sobre una base de sostenibilidad (Comisión Europea, 1998). La GFS puede permitir la producción continua de aguacate en áreas más adecuadas, al tiempo que busca activamente la eliminación del riesgo de deforestación,



la restauración de la cubierta forestal y el mejoramiento en el secuestro de carbono. Esto se logra a través de prácticas como la reducción de la tala, la promoción de la regeneración de bosques naturales (poda selectiva y desmonte), el respeto de las áreas de conservación, la protección de los árboles de semillas, la realización de un inventario de árboles y el mapeo de árboles comerciales, y la protección contra incendios (ONU Medio Ambiente, 2015). La **Figura 22** destaca cómo la GFS se puede visualizar en la práctica.

! La GFS no debe ser percibida como un respaldo para la expansión agrícola en tierras forestales, sino como un recurso para ser utilizado por los productores, asociaciones y empresas aguacateras cuyas actividades ya se desarrollan en áreas forestales, con el objetivo de mejorar la sostenibilidad de sus operaciones.

Figura 22. Diagrama del bosque gestionado incluyendo las diferentes especies arbóreas y subáreas forestales



Fuente: **ONU Medio Ambiente**. 2015. *Microfinance for ecosystem –based adaptation measures– Options, costs and benefits*. Panamá.

En el caso de la producción de aguacate, tanto los productores como las comunidades locales deben trabajar conjuntamente para implementar la GFS en las regiones forestales donde se lleva a cabo la producción. La práctica puede aplicarse a regiones y zonas que ya sufren o están en riesgo de degradación forestal a cualquier nivel. Algunos de los principios generales de la GFS identificados son (RIBM, 2019; CCMSS, 2010):

- 1. Identificación y definición del área a gestionar.** Esto puede basarse en límites administrativos o ecológicos o guiarse por el problema que debe abordarse (por ejemplo, producción y expansión agrícola, restauración). Se debe mapear el sitio seleccionado y hacer un inventario forestal para identificar las áreas que serán dedicadas a la producción, la protección (incluidos los cuerpos de agua) y la restauración.
- 2. Identificación de los actores que participarán tanto en el desarrollo y la validación del plan de gestión, como en su implementación.** Estos actores deben incluir a los principales usuarios de la tierra (por ejemplo, Pueblos Indígenas, comunidades locales, productores de aguacate e industria maderera), gerentes forestales y otros actores (por ejemplo, organizaciones no gubernamentales, gobiernos subnacionales y nacionales). Un mapeo de los diferentes actores puede ser realizado para identificar las dinámicas de poder y los intereses para alcanzar el objetivo de la GFS.
- 3. Compromiso con la sostenibilidad y la gobernanza.** La práctica se basa en el reconocimiento de la tenencia de la tierra y la gobernanza, el uso y la gestión sostenibles de los bosques, y la participación y el compromiso de la comunidad. Por lo tanto, el establecimiento claro de los derechos y garantías sobre el uso de los bosques y la tierra entre la comunidad, los Pueblos Indígenas (si están presentes) y otros usuarios de los bosques debe acompañar esto. Si existen Pueblos Indígenas en áreas forestales, entonces se debe llevar a cabo un proceso de **consentimiento libre, previo e informado** (CLPI) para permitirles dar o negar su consentimiento a un proyecto que pueda afectarlos a ellos o a sus territorios. Las **Directrices voluntarias sobre la tenencia de la tierra** también pueden servir como referencia para establecer principios y estándares internacionalmente aceptados para las prácticas de gobernanza responsable de la tenencia de la tierra y los bosques.
- 4. Identificación de los riesgos principales a abordar.** La identificación de los riesgos más urgentes relacionados con el clima, la degradación ambiental u otros problemas socioeconómicos guiará la estrategia de la GFS para abordarlos.
- 5. Clasificación de especies comerciales y protegidas.** El plan de manejo forestal debe desarrollarse sobre la base de la clasificación de especies por grupo comercial (es decir, aguacate y otros productos forestales maderables y no maderables), especies que se utilizarán y protegerán, y la división administrativa del área (ver **Figura 23**). El plan debe estar impulsado por un acuerdo sobre la visión, la misión, los objetivos y los efectos esperados de la GFS por parte de todos los actores. El plan de gestión debe ir acompañado de un plan de trabajo junto con la identificación de los recursos financieros necesarios para lograr la dirección estratégica.
- 6. Establecimiento de un sistema de monitoreo y evaluación (M&E)** que permita seguir los progresos y evaluar el éxito de la ordenación sostenible de los bosques implantada. El sistema también ayudará a abordar los problemas cuando surjan, diseñando, implementando mejores proyectos y mejorando la rendición de cuentas. El aprendizaje generado también puede ayudar a ampliar y replicar las estrategias exitosas. La **Red Internacional de Bosques Modelo** ofrece recursos y plantillas para desarrollar un **sistema de M&E** para la GFS.



7. Comunicación de los avances y resultados con todos los actores involucrados en la GFS con el fin de mejorar la transparencia, la rendición de cuentas y el compromiso.

Figura 23. Protección de bosques y producción de aguacate en Michoacán, México



© APEAM, A.C.

Recuadro 8. Programa de reforestación en México en colaboración con las comunidades locales

Empresa o asociación: Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México (APEAM, A.C.)

Región: Michoacán, México

APEAM inició un programa anual de reforestación en 2011 que busca fortalecer la biodiversidad natural de Michoacán y tiene como objetivo desarrollar actividades de plantación de especies nativas de árboles, principalmente coníferas en la región productora de aguacate. Desde 2018, el programa fue modificado e incluido en un sistema integral que busca reforestar zonas de alta relevancia ecológica y de recarga de mantos acuíferos, en el que participan todos los productores de aguacate dentro de la Asociación. El proyecto incluye acciones de restauración y ayuda a los productores a realizar mejoras en las áreas forestales donde se existen huertos o en tierras agrícolas vecinas. Desde el inicio del programa, la Asociación ha plantado más de 2.9 millones de árboles en Michoacán. El uso de especies nativas, como *Devoniana Lindley michoacana* y *Pseudostrobus Lindl*, se reporta que ha contribuido a la tasa de supervivencia del 85 % de los árboles.

APEAM también está trabajando con productores y comunidades locales para preservar los bosques y mejorar el potencial de los servicios ecosistémicos que los bosques proporcionan en la región. Estos incluyen la preservación de la salud del suelo, la retención de agua en los bosques, la conservación de los cuerpos de agua y el secuestro de carbono.

Las consideraciones para la implementación de la GFS incluyen la deliberación en los niveles de aprovechamiento de productos forestales madereros y no madereros para prevenir la degradación forestal y la extracción excesiva de nutrientes. En caso de que sea necesario el uso de fertilizantes y aditivos nutritivos y medidas de gestión de plagas, estos deben aplicarse de manera controlada y teniendo debidamente en cuenta el medio ambiente (Comisión Europea, 1998). Es necesario prestar atención a la disponibilidad de infraestructura (carreteras, puentes, pistas deslizantes) para garantizar el suministro eficiente de productos y reducir al mismo tiempo los efectos negativos en el medio ambiente. El **Recuadro 8** ofrece un ejemplo de un programa de reforestación en México.

4.13 Manejo de residuos

Riesgos climáticos abordados: la práctica no responde a amenazas climáticas específicas. En cambio, la gestión de residuos tiene como objetivo reducir el efecto generado por la industria con respecto a la producción de desperdicio y material de descarte. Esto tiene un importante potencial de mitigación del cambio climático. Otros beneficios incluyen ganancias económicas a través de la comercialización de los subproductos generados (por ejemplo, biofertilizantes, aceite) y la reducción de costos de producción a través del reemplazo de insumos.

La práctica:

Los residuos de la producción de aguacate a nivel industrial tienen usos potenciales como materia prima para la obtención de productos de valor agregado a través del procesamiento. El fruto del aguacate y sus derivados son fuentes ricas en nutrientes y fitoquímicos que podrían ser utilizados en las industrias alimenticia, farmacéutica y cosmética (Salazar-López *et al.*, 2021). Asimismo, los residuos generados por la poda de árboles viejos de aguacate también pueden ser procesados para crear biofertilizantes o ser utilizados para la industria de la construcción.



El procesamiento de los subproductos de los residuos de aguacate requiere inversiones en infraestructura y tecnología (por ejemplo, para establecer plantas de extracción de aceite o almidón) por parte de empresas y asociaciones, así como la colaboración con otras industrias (por ejemplo, alimentos, cosméticos, moda). Sin embargo, las actividades también tienen el potencial de minimizar la cantidad de desechos y residuos agrícolas no utilizados, así como de crear opciones de medios de vida alternativos para los productores y las comunidades.



El **Cuadro 10** enumera algunos productos que se pueden extraer de los residuos de aguacate:

Cuadro 10. Subproductos derivados de residuos de aguacate (no exhaustivo)

Subproducto	Observaciones
Aceite de aguacate	El aceite de aguacate se extrae de la fruta de aguacate madura que se ha encontrado que tiene alrededor del 75 % del aceite óptimo disponible en la pulpa. El aceite se obtiene de la pasta de pulpa moliéndola y batiéndola a 45-50 °C durante 40-60 minutos. Se aconseja no utilizar frutos muy maduros o con importantes trastornos posteriores a la cosecha, como patógenos, para obtener la máxima calidad del aceite. Para minimizar el desperdicio, las empresas pueden considerar el uso de frutas de baja categoría consideradas como tales debido a su tamaño u otras propiedades organolépticas que limitan su potencial de mercado internacional o nacional. Es importante tener en cuenta que la extracción de aceite de aguacate es un proceso de extracción mecánica y se requiere un proceso adicional para eliminar semillas/huesos. Además, al usar solo la pulpa, se generan subproductos como cáscara, fruta podrida o muy madura, pulpa y semillas.
Almidón para los textiles	Las semillas de aguacate descartadas se pueden usar para extraer almidón y tinte natural, ya que el contenido de almidón de una semilla de aguacate puede alcanzar hasta el 74 % de su peso seco, según el cultivar. Estos subproductos se pueden utilizar en aplicaciones textiles, como agente de apresto, agente de refuerzo y como espesante de coloración de telas. El almidón también se puede usar para producir hilo de urdimbre y ser una opción ecológica y alternativa al uso de almidón de maíz. La sustitución del hilo de urdimbre tradicional también puede reducir la presión sobre la producción de alimentos para la generación de estos biomateriales a partir de biomasa residual sostenible. Para la coloración de textiles, la semilla de aguacate contiene un color rosa-anaranjado que se puede aplicar a materiales como la seda, el algodón y la lana. Los colores se pueden extraer a través de procesos cortos y económicos.
Almidón para la industria alimentaria	El almidón producido también se puede usar en productos alimenticios para proporcionar textura y consistencia en las formulaciones de alimentos (por ejemplo, postres, pudines y productos congelados).
Biopolímero en bioplástico	El biopolímero de almidón extraído de la semilla de aguacate se puede utilizar para crear bioplástico. El material puede constituirse como una alternativa sustentable y ser utilizado para diferentes aplicaciones como empaques en industrias procesadoras de alimentos, agroindustrias e industrias papeleras.
Aguacate en polvo	Las cáscaras y las semillas pueden deshidratarse mediante la tecnología de secado por aspersion y transformarse en productos básicos almacenables. Además de reducir el desperdicio, la práctica puede extender la vida útil de los alimentos de alto valor nutritivo con altas propiedades antioxidantes, como los polvos de aguacate, que se pueden utilizar en diferentes alimentos (por ejemplo, complementos alimenticios, alternativas a la leche de origen vegetal, condimentos).
Astillas o virutas de madera de árbol de aguacate	Las astillas y virutas de madera se pueden utilizar para producir compost, biofertilizantes, paneles de madera compactada, entre otros. El aprovechamiento de la madera procedente de la poda del aguacatero tiene como objetivo evitar quemar la madera al aire libre y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (ver Figura 24).

Fuente: consulte la lista de referencias al final.

Figura 24. Astillas de aguacate podado para procesar y minimizar la quema



© APEAM, A.C.



Es importante tener en cuenta que muchos de estos procesos pueden requerir grandes inversiones para el procesamiento, así como la colaboración con otros actores (p. ej., instituciones gubernamentales y de investigación) e industrias (p. ej., industrias de biocombustibles o cosmética). Asimismo, se debe evaluar su efecto ambiental y socioeconómico, la huella de carbono y el ciclo de vida de los subproductos generados para asegurar su sostenibilidad (Hernández-Chaverri y Prado-Barragán, 2018).

4.14 Sistemas de riego eficientes en el uso del agua

Riesgos climáticos abordados: sequía, calor extremo, cambios en los patrones de lluvia, reducción de las precipitaciones y heladas. Otros beneficios incluyen una mayor productividad debido a la reducción del estrés hídrico y térmico, así como el ahorro de agua y, por lo tanto, menores costos de producción asociados con el consumo de agua, combustible y energía para la extracción de agua (cuando corresponda). En entornos de producción a pequeña escala, el tiempo dedicado a la recolección de agua y el riego manual puede reducirse considerablemente y asignarse a otras actividades productivas. Esto podría ser particularmente beneficioso para los grupos de población que tienen la responsabilidad de estas tareas, incluidas las mujeres productoras a pequeña escala.



La práctica:

Las relaciones planta-agua juegan un papel importante en el cultivo del árbol de aguacate ya que el crecimiento vegetativo del árbol es muy sensible a la disponibilidad de agua. La producción de aguacate se ve favorecida por un clima cálido (hasta 33 °C) y una humedad relativa de 60 % a 65 % (Kourgialas y Dokou, 2021). Se ha observado que cuando los déficits de agua ocurren en etapas críticas del desarrollo de la fruta, pueden causar una reducción en la calidad, produciendo fruta con un tamaño más pequeño o un menor contenido de nutrientes (Lahav *et al.*, 2002). Durante la floración, la gestión del agua es crítica, ya que hay una mayor demanda de agua durante este período a medida que aumenta el dosel. La fase de crecimiento de la fruta es el segundo período crucial para el riego, ya que el manejo efectivo del riego puede reducir las caídas tempranas de la fruta y aumentar el tamaño de la fruta (Schaffer *et al.*, 2013; Kourgialas y Dokou, 2021).

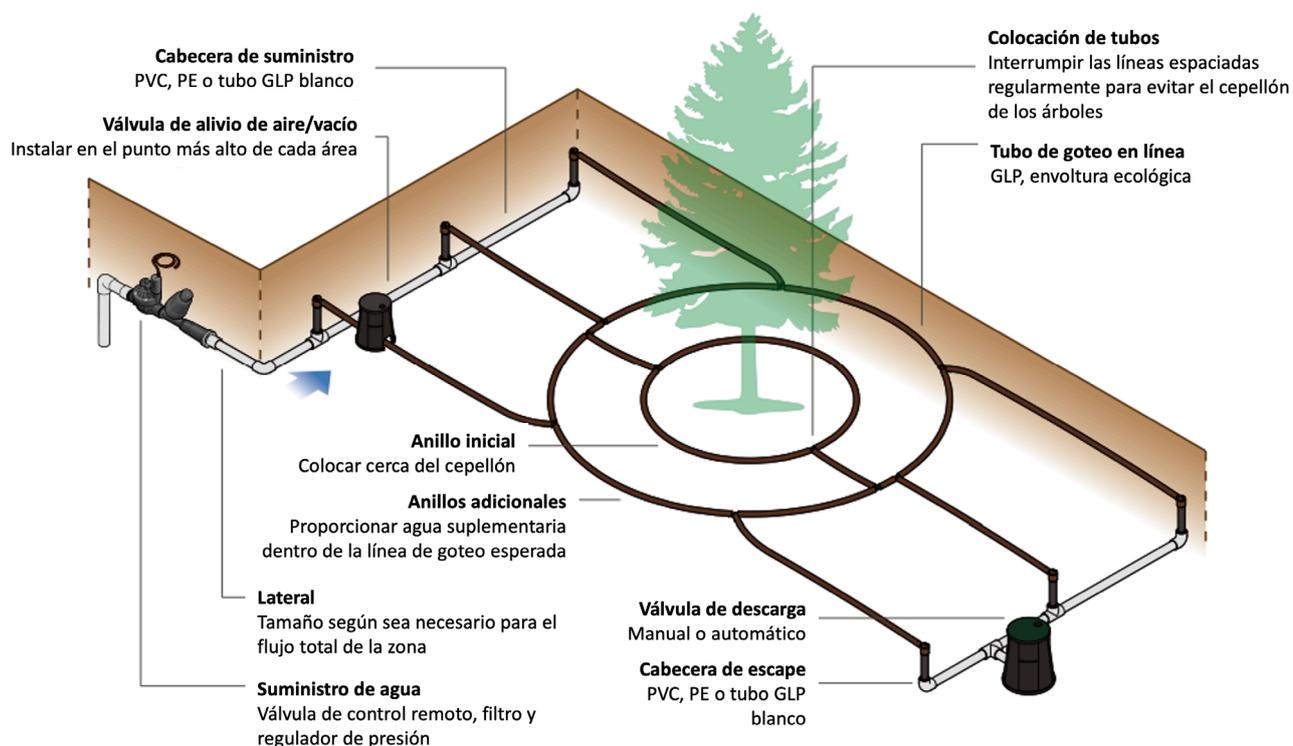
Aunque la mayoría de las regiones productoras de aguacate dependen en gran medida de las precipitaciones para la producción, se requerirá cada vez más el uso de riego suplementario para adaptarse a los eventos de sequía más recurrentes, la variabilidad de las precipitaciones, el inicio tardío de las lluvias y la escasez de agua observada en la mayoría de las regiones productoras.

El **riego por goteo** es un sistema de riego eficiente que permite el uso óptimo del agua. El sistema suministra una cantidad controlada de agua a baja presión y a una alta tasa de aplicación a través de goteros (Çetin y Akalp, 2019). La precisión también limita la evaporación y la escorrentía de agua, mientras que proporciona agua a la zona de la raíz, que es donde se necesita. Como tal, esta técnica promueve el ahorro de consumo de agua, que se estima que utiliza hasta un 70 % menos en comparación con los sistemas de riego convencionales (por ejemplo, riego por inundación) (ONU Medio Ambiente, 2015). El riego por goteo generalmente consiste en una fuente de agua, una unidad de bombeo, una unidad de fertilización, filtros, la red de distribución y goteros. Para árboles grandes, podría ser necesario instalar anillos adicionales conectados a las líneas de goteo para poder proporcionar suficiente agua como se ve en la **Figura 25** (Hunter Industries, 2023).



Los sistemas de riego tecnificados deben ir acompañados de sistemas de monitoreo del agua para garantizar el contenido óptimo de agua en el suelo que permita el crecimiento idóneo de las plantas y una gestión eficaz del riego (Beyá-Marshall *et al.*, 2022). En un estudio en Chile, el uso de sensores de monitoreo de agua en huertos de aguacates generó un ahorro de agua del 29 % (*ibid.*). Además, el monitoreo cercano del agua también permitirá a los productores prevenir posibles crisis debido a un uso excesivo de los recursos hídricos para el riego. Es decir, esto puede prevenir posibles daños ecológicos y económicos, así como problemas sociales relacionados con el acceso al agua para la población y otras industrias.

Figura 25. Sistema de riego por goteo por anillos



Fuente: Hunter. 2023. *Drip irrigation design and installation guide*. Consultado el 18 de febrero de 2023. [Chwd.org/wp-content/uploads/Hunter-Drip-Irrigation-Design-Guide.pdf](https://chwd.org/wp-content/uploads/Hunter-Drip-Irrigation-Design-Guide.pdf)

Los **aspersores de bajo volumen** también podrían ser un sistema de riego eficiente en el uso del agua dado que puede permitir una alta uniformidad en la distribución del recurso y minimizar la humedad excesiva del suelo, que potencialmente puede ocasionar la pudrición de la raíz. Un estudio de estos sistemas en suelos arenosos en Marruecos mostró que los aspersores eran más beneficiosos que el riego por goteo, mejorando la calidad y cantidad de hojas y frutos (Ben Taleb, Brhadda y Ziri, 2022). El estudio sugiere que el aumento de la superficie irrigada y el volumen húmedo podrían haber jugado un papel importante en la estimulación fisiológica y la actividad metabólica del árbol y las raíces. Además, el uso de rociadores promovió un aumento en el rendimiento en un 35 %, mientras que los costos asociados al uso del agua se redujeron en un 16 %. El riego con aspersores por encima del dosel también demostró beneficios positivos en términos de protección de los árboles de aguacate contra eventos de heladas (Remy *et al.*, 2019). Para obtener más detalles, consulte la sección sobre **sistemas de protección anti-heladas**.

Otros beneficios de estos métodos de riego son el aumento de la eficiencia en el uso de fertilizantes a través de la aplicación controlada de nutrientes con agua de riego, también conocida como **fertirrigación o riego con fertilizante**. La práctica disminuye la cantidad de fertilizantes utilizados (estimada entre el 30 % y el 50 % del consumo de fertilizantes; Fan *et al.*, 2020) y promueve un



mejor manejo de los nutrientes aplicados a la planta. En combinación con el control del agua y la humedad, la fertirrigación también evita la escorrentía de nutrientes, con un efecto positivo en la salud del suelo, la calidad de la fruta y los costos de producción. El ahorro y la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes permiten que la producción continúe en lugares y momentos donde haya menos disponibilidad de agua y aditivos nutritivos del suelo, lo que lleva a una producción de fruta más estable y de mayor calidad. Sin embargo, el uso de sistemas de fertirrigación requiere un análisis previo de las propiedades químicas del suelo y los elementos minerales para identificar el enfoque de manejo de nutrientes necesario. El uso excesivo de fertilizantes puede provocar desequilibrios de nutrientes, lo que puede dañar los microorganismos del suelo y reducir su fertilidad con el tiempo. Además, la fertirrigación puede provocar un aumento de la salinidad del suelo, lo que puede reducir el crecimiento de las plantas y limitar los tipos de plantas que pueden crecer si no se analizan correctamente las necesidades de nutrientes del suelo.

Las consideraciones para la implementación de estos sistemas incluyen altos costos de inversión de los materiales, filtros y bombas, así como la asistencia técnica requerida para garantizar que los sistemas se implementen adecuadamente. Los costos asociados con el combustible y la energía necesarios para hacer funcionar las bombas deben tenerse en cuenta, ya que esto puede hacer que los costos de extracción de agua y riego sean más caros. Una alternativa a las bombas a base de combustible podrían ser los sistemas de bombeo de agua con base en energía solar, las cuales reemplazan las versiones con motor diésel para extraer agua superficial o subterránea para el riego.



En el aspecto ambiental, **la extracción de agua requiere un monitoreo cercano para evitar el posible agotamiento y contaminación de los recursos hídricos subterráneos debido a la salinización u otros procesos.** También es importante tener en cuenta la cantidad de agua disponible en el área de producción cuando se considera ampliar el área para el cultivo de aguacate. Esto evitará que los productores no puedan cubrir las necesidades de riego de la nueva superficie ni siquiera con el uso de riego tecnificado. Asimismo, esto mitigará los riesgos de agotamiento de los recursos hídricos disponibles en un lugar determinado y la repercusión negativa en los ecosistemas y las comunidades.

Del mismo modo, **el riego por sí solo no es suficiente para aumentar la producción; debe ser parte de un sistema de manejo integrado de agua para ser exitoso.** La irrigación suplementaria debe ir acompañada de soluciones agronómicas complementarias vinculadas a la agricultura de conservación, la agricultura regenerativa y otras prácticas agroecológicas que preservan tanto los recursos hídricos como los del suelo. Estas pueden incluir el manejo de nutrientes, **prácticas de manejo del suelo, manejo integrado de plagas**, entre otros.

El **Recuadro 9** destaca cómo la adopción generalizada del riego por goteo y microaspersión ha reducido el consumo de agua en las plantaciones de aguacate en el Perú. El uso de estos sistemas por parte de Westfalia Fruit forma parte de un plan integrado de gestión del agua y el suelo.

Recuadro 9. Uso de prácticas de gestión del agua a través de sistemas de riego en la zona costera del Perú

Empresa o asociación: Westfalia Fruit

Región: el Perú

Una de las zonas principales para la producción de aguacate en la zona de la sierra del Perú, debido a su temporada de producción. El agua para estas zonas de mayor altitud proviene de los glaciares, las lluvias, las lagunas y las presas. Sin embargo, en los últimos años, la disponibilidad de agua ha disminuido debido al retraso de los inicios de lluvias en meses críticos de desarrollo de fruta en estas áreas. Esto ha llevado a un declive en el volumen de producción y calidad del fruto. También plantea desafíos para la distribución del recurso entre los productores ubicados en las zonas de la sierra. La competencia por el agua entre productores de las mismas zonas hace que los productores más pequeños que no trabajan con sistemas de riego tengan mayores problemas para distribuir adecuadamente el agua en sus campos.

Para responder a este efecto, Westfalia ha reportado haber invertido en la tecnificación de la irrigación y el mejoramiento de prácticas para el manejo del agua. Aproximadamente el 90 % de los productores en las zonas costeras/tierras bajas y de la sierra están utilizando riego por goteo y microaspersión para un uso más eficiente del agua y también para una mejor absorción de nutrientes por parte de las plantas mediante fertirrigación. Asimismo, Westfalia lleva un monitoreo constante de uso del agua que le permite medir y regular su consumo de forma más eficiente.

Estos sistemas de riego se están implementando en todas las áreas productivas como práctica para reducir la cantidad de agua necesaria para la producción en la costa y sierra y aumentar la productividad entre un 10 % y un 40 % en comparación con riegos por inundación o con riegos tecnificados, pero de diseño que no son acordes a los requerimientos del cultivo.

Westfalia Fruit tiene como objetivo reducir el consumo de agua en sus operaciones en un 50 % para el 2023. El uso de sistemas de riego tecnificados está promoviendo un mejor uso de fertilizantes, por lo que se está evaluando el tener una reducción en el uso de fertilizantes manteniendo buena productividad.



4.15 Cortina rompevientos y cercas vivas

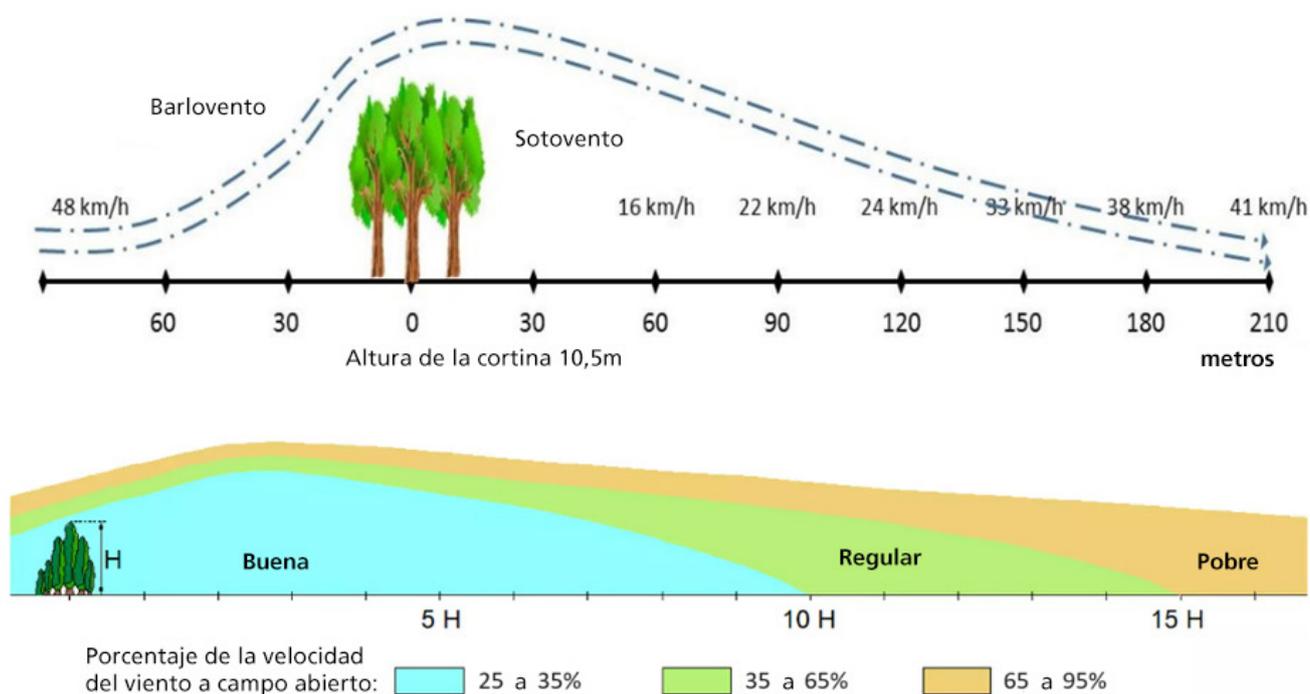
Riesgos y efectos climáticos abordados: vientos fuertes y frecuentes. Los rompevientos tienen el potencial de reducir los efectos de la **sequía**, el **calor extremo** e incluso las **heladas** gracias al microclima creado por los árboles plantados. Los rompevientos también evitan **la erosión del suelo** y ofrecen **protección a los polinizadores**. Al regular los microclimas, los rompevientos también pueden ayudar a reducir los **ciclos de producción alternante**.

La práctica:

Las cortinas rompevientos están formados por una o más hileras de árboles y arbustos de diferentes alturas (corta, media y alta), que se colocan en sentido opuesto a la dirección del viento. Son una herramienta importante en la implementación de estrategias de agricultura climáticamente inteligente y agroecología. El objetivo es reducir la fuerza y velocidad del viento, y el efecto que estos provocan en los árboles de aguacate. La protección que ofrecen las cortinas rompevientos es particularmente importante durante las fases de floración y cuajado, ya que evita que las flores y frutos pequeños caigan, se sequen, así como que se rompan las ramas y se reduzca la actividad de los polinizadora asociada con los fuertes vientos (Holmes y Farrell, 1993). Los rompevientos también contribuyen a limitar la erosión eólica y regular las condiciones climáticas en el área de producción (Singh, 2023). La reducción del viento fuerte también puede reflejarse en una mejor calidad de la fruta debido a la menor incidencia de cicatrices en la piel y, por lo tanto, una reducción del potencial de patógenos que pueden ingresar a las frutas a través de estas cicatrices (Holmes y Farrell, 1993). La **Figura 26** muestra cómo funcionan las cortinas rompevientos.

En la producción de aguacate, los rompevientos son particularmente adecuados en áreas con baja precipitación, ya que la presencia de árboles y arbustos ayuda a preservar la humedad y la temperatura moderada en las parcelas. La práctica también proporciona otros servicios ecosistémicos como la mejora o restauración del paisaje, la protección de los polinizadores o servir como corredores biológicos para insectos y animales (Weninger *et al.*, 2021), especialmente cuando se utilizan especies nativas y locales. Los rompevientos también puede servir como cercas vivas para definir los límites de los campos. La implementación de esta medida de adaptación también apoya los esfuerzos de mitigación del cambio climático, ya que el aumento de la biomasa presente en el sistema de producción puede promover el secuestro y almacenamiento de carbono.

Figura 26. Efecto de la cortina forestal en la reducción de la velocidad del viento (arriba) y la eficacia de la protección con respecto a la altura (H) de la cortina (abajo)



Fuente: **Fernández-Reynoso, D., Martínez Menez, M., López Martínez, L. y Mendoza González, C.** 2017. *Cortinas Rompevientos*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. [Consultado el 6 de febrero de 2023]. <https://es.slideshare.net/demetriofernandez313/cortinas-rompevientos-2da-ed>

El establecimiento de cercas vivas adyacentes a un arroyo, lago, humedal, así como al área productiva, también pueden actuar como **bosques de amortiguamiento**. Las zonas de amortiguamiento brindan alimento y cobertura para la vida silvestre, mejoran la disponibilidad de agua, regulan la temperatura ambiental y del agua, y ralentizan los flujos de inundación fuera de la ribera. De tal modo, actúan como refugio natural de la biodiversidad local y como línea de defensa frente a fenómenos meteorológicos extremos. Para obtener más información sobre los bosques y la gestión forestal, consulte la sección sobre **gestión forestal sostenible**.

El **Recuadro 10** proporciona un ejemplo de cómo se han implementado cortinas rompevientos en los huertos mexicanos de aguacate con resultados ambientales positivos.



Recuadro 10. Implementación de cortinas rompevientos para reducir los efectos de fuertes vientos en la producción de aguacate en México

Empresa o asociación: Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de Jalisco (APEAJAL)

Región: Jalisco (México)

Desde 2018 APEAJAL ha implementado un programa de reforestación de árboles nativos alrededor del área productiva para que actúen como cortinas rompeviento y cercos vivos, reduciendo la velocidad del viento, y así la repercusión en la producción. Al 2022 se han plantado 217,300 árboles en un total de 263 unidades de producción, ubicadas en los 23 municipios de Jalisco que concentran la mayor cantidad de huertas de aguacate.

Se ha reportado que la estrategia también ha tenido otros beneficios como la preservación de la humedad del suelo y el control de la temperatura en las zonas de producción. Además, los productores han incluido plantas que atraen polinizadores promoviendo a la preservación de la población de estos y aumentando su presencia dentro de la producción. Las medidas tomadas por la asociación se incluyen como parte de un programa que tiene como propósito ayudar a reducir los efectos causados por eventos climáticos extremos como fuertes vientos, granizadas y alzas en las temperaturas en el mediano plazo.

Las consideraciones para la implementación incluyen la selección de especies de árboles y arbustos que no impliquen una alta competencia con los huertos de aguacate (Taleb *et al.*, 2018). Se recomienda que las especies seleccionadas sean de crecimiento rápido y vertical, con follaje perenne y que no sean huéspedes conocidos de plagas y enfermedades similares al aguacate. Las especies de árboles y arbustos también deben ser flexibles y con buena capacidad de respuesta a la poda. En climas tropicales, el manzano rosado (*Eugenia malaccensis*), el olivo (*Simarouba glauca*), la amapola (*Hibiscus sepium*), el itabo (*Yucca elephantipes*), el aligustre brillante (*Ligustrum lucidum*), entre otros, podrían usarse para las cortinas rompevientos (Garbanzo, 2015). En climas mediterráneos, el ciprés horizontal (*Cupressus horizontalis*) y el ciprés de Arizona (*Cupressus arizonica*) son algunas especies recomendadas (Taleb *et al.*, 2018).



Se aconseja incorporar especies nativas de árboles y arbustos como parte de las cortinas rompevientos para proteger la biodiversidad local y los ecosistemas, y prevenir el riesgo de invasión de especies no nativas. La evaluación de las propiedades del suelo y la disponibilidad de agua es fundamental para garantizar la máxima supervivencia y rendimiento de las especies plantadas.

Capítulo 5.

Discusión y conclusiones



Se requiere la adaptación al cambio climático para garantizar la continuidad de la producción y el comercio mundial de aguacate. Con la adaptación al cambio climático, las empresas y asociaciones de productores podrán proteger sus sistemas de producción y cuidar del medio ambiente y de sus trabajadores, reduciendo al mismo tiempo la creación de nuevos riesgos ligados al aumento de las emisiones y el calentamiento global. Por tanto, la adaptación al clima contribuirá a la resiliencia y la sostenibilidad de las cadenas de valor agrícolas.

Si bien el cambio climático y sus efectos se experimentarán de manera diferente a través de las naciones y regiones productoras y, dentro de ellas, los **fenómenos meteorológicos extremos aumentarán en frecuencia e intensidad**. Asimismo, se prevé la **aparición simultánea de múltiples factores de riesgo climático** en las mismas regiones, lo que, en combinación con otros factores ajenos al clima (como contracciones económicas o pandemias), aumentará el riesgo general para los sistemas de producción agrícola. Como tal, los productores de aguacate deben estar preparados para enfrentar de manera sincronizada múltiples riesgos, de modo que puedan maximizar los beneficios de las sinergias asociadas a la combinación de las prácticas de adaptación. Este enfoque también ayudará a minimizar el riesgo de que los sistemas naturales alcancen límites de adaptación, un factor de riesgo clave identificado en el informe del IPCC frente a los continuos aumentos del calentamiento mundial (IPCC, 2023).

Es importante destacar que ya se cuenta con conocimiento e información sobre cómo adaptarse al cambio climático en el sector del aguacate; y muchas empresas y asociaciones de productores están trabajando activamente en la formulación de estrategias y están poniendo a prueba prácticas sobre el terreno para hacer frente al cambio climático y a los eventos climáticos extremos. El **capítulo 4** de esta guía destaca algunas de las tecnologías, prácticas, técnicas y sistemas existentes que pueden ayudar a los productores a enfrentar los cambios en curso, a prepararse y prevenir futuros eventos climáticos. También se presentan ejemplos de buenas prácticas de adaptación de empresas y asociaciones.

Es probable que muchas de las prácticas de adaptación identificadas sean relevantes para todos los sistemas de producción de frutas tropicales (por ejemplo, sistemas de drenaje, sistemas de alerta temprana, manejo integrado de plagas, manejo integrado de aguas, acolchado o mantillo y cultivos de protección, manejo de residuos, cortinas rompevientos y cercas vivas), mientras que otras prácticas identificadas son específicas de las necesidades de adaptación del producto (por ejemplo, agroforestería, sistemas de protección anti-heladas, protección de polinizadores y apicultura, mallas de sombreado, gestión forestal sostenible). **Las prácticas de adaptación seleccionadas abordan simultáneamente múltiples riesgos climáticos y sus repercusiones.** Es importante resaltar lo anterior, ya que las estrategias de adaptación discretas que abordan solo un factor de riesgo a la vez tienen menos probabilidades de lograr el efecto deseado en comparación a la combinación de muchas prácticas.

La adaptación al cambio climático es un proceso continuo que lleva tiempo y requiere inversiones en información y datos. Se necesitan datos e información actualizados periódicamente sobre los factores de producción y las tendencias climáticas para que las prácticas de adaptación sigan siendo relevantes. Las empresas y las asociaciones de productores pueden considerar el desarrollo de estrategias de adaptación que tengan en cuenta las tendencias climáticas proyectadas a corto, mediano y largo plazo. También deben tener en cuenta que algunas prácticas podrían volverse obsoletas a medida que cambian las temperaturas y los patrones de precipitación mundiales y locales. Esto puede requerir de inversión, investigación y adopción continua de nuevos enfoques para transformar sus sistemas de producción y garantizar el suministro de fruta a largo plazo. Asimismo, podría ser necesaria una evaluación detallada de los riesgos y los efectos climáticos previstos en cada región y localidad productora para que la estrategia de adaptación sea lo más adecuada posible. Para apoyar este proceso es necesario recopilar datos climáticos tanto en las fincas como por parte de instituciones públicas en zonas localizadas. También se requiere apoyo para la capacitación de los productores sobre cómo interpretar estos datos e incorporar esta información en sus procesos de toma de decisiones.

Dentro de lo posible, los esfuerzos de adaptación y mitigación para reducir las emisiones de GEI deben realizarse en conjunto. La adopción de prácticas de adaptación que tengan potencial de mitigación de los efectos del cambio climático ayudará no solo a reducir las emisiones de GEI, sino también a extender la vida útil de las prácticas de adaptación disponibles. Asimismo, se pueden formular estrategias de mitigación de manera que contribuyan a la adaptación y la refuercen. Algunas de las prácticas de adaptación identificadas para la producción de aguacate (como el manejo sostenible del suelo, la agroforestería, la gestión forestal sostenible y la reducción y el manejo de residuos) también tienen efectos positivos en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de la producción. Estas prácticas también tienen implicancias importantes en el almacenamiento de carbono, por ejemplo, mejorando la salud del suelo o aumentando la biomasa, volviendo más sostenible la producción de aguacate.



La adopción de tecnologías y prácticas de adaptación requiere algunas consideraciones clave:

- **Aceptar cierto margen de daños:** es posible que sea inevitable cierto nivel de pérdida o daño de la fruta durante la adaptación, especialmente durante las primeras etapas de la introducción de la práctica. Por ejemplo, al implementar prácticas integradas de manejo de plagas y malezas, es posible que los productores deban tolerar la presencia de un número mínimo de plagas, enfermedades y malezas para permitir un reequilibrio natural de los ecosistemas. Asimismo, la eliminación gradual de los fertilizantes sintéticos puede significar una reducción del rendimiento en las fases iniciales a medida que se restablecen las propiedades y estructuras del suelo. El nivel de daño que los agricultores y las empresas estén dispuestos a asumir dependerá de sus propios ingresos y necesidades de adaptación, y de la visión a largo o corto plazo que oriente la gestión de la operación.
- **Costos de inversión:** los productores, las asociaciones y las empresas deben evaluar las inversiones necesarias para integrar nuevas tecnologías o técnicas en el sistema de producción, así como los beneficios, incluidos los ambientales y sociales. Estos pueden incluir, entre otros, costos asociados con pérdidas y daños a la producción y la infraestructura, además de riesgos para la salud, si no se toman medidas. Podría ser necesario un análisis de costo–beneficio para evaluar las ventajas y los costos en que incurrirían las empresas en un escenario sin cambios vs. un escenario en el que se implementan las estrategias de adaptación.
- **Requisitos de tiempo:** el diseño de algunas prácticas de adaptación puede llevar más tiempo que otras, por lo que se requiere un horizonte temporal más largo y una mayor inversión para pasar de la teoría a la práctica. Algunas de estas soluciones de adaptación incluyen el desarrollo de semillas, plantas y material genético resilientes al clima, así como la configuración de sistemas de alerta temprana.

Todas las prácticas de adaptación deben apuntar a mantener una perspectiva de sostenibilidad en sus tres dimensiones. Si bien la dimensión ambiental es el punto de entrada obvio para promover la adaptación en el sector de las frutas tropicales, también es fundamental abordar los riesgos sociales (por ejemplo, la salud de los trabajadores) y económicos (por ejemplo, mayores costos para mantener la infraestructura) ligados a los efectos del cambio climático con el fin de que las operaciones comerciales perduren en largo plazo.

Hasta la fecha, **existe evidencia limitada sobre el efecto social del cambio climático** en los medios de vida, la salud y la seguridad de los productores y los trabajadores que operan en la cadena de valor del aguacate. Sin embargo, algunas investigaciones señalan la alta vulnerabilidad que enfrentan los trabajadores en las cadenas de valor agroalimentarias, particularmente los trabajadores del campo, debido a los eventos climáticos extremos. Esto está relacionado con la naturaleza extenuante del trabajo que se realiza principalmente al aire libre, generalmente en condiciones laborales inadecuadas (El Khayat *et al.* 2022). Algunas empresas productoras de aguacate en Colombia ya han identificado estos riesgos, especialmente los relacionados con el **estrés térmico y las enfermedades conexas** derivadas del aumento de las temperaturas y la radiación solar.

Los perfiles de países en riesgo desarrollados por el Banco Mundial indican que un aumento en la frecuencia de las olas de calor, y el estrés térmico resultante en los trabajadores, será más frecuente en los próximos años, particularmente en países productores como Colombia, Kenya y Sudáfrica, ocasionando pérdida de productividad laboral y riesgo para la vida humana (Banco Mundial, 2021). Si el estrés por calor aumenta la mortalidad y la morbilidad de las personas más vulnerables, especialmente la población de riesgo como ancianos, niños, niñas y mujeres embarazadas. Asimismo, la capacidad de aprendizaje de niños y niñas disminuye significativamente con una mayor exposición al calor. Otros factores proyectados que pueden ser estresantes para la salud están asociados con el cambio climático e identificados en muchos de los países incluidos en la guía, los cuales incluyen un aumento de la contaminación del aire, el asma y las enfermedades transmitidas por vectores (es decir, malaria, dengue, esquistosomiasis y enfermedades transmitidas por garrapatas), enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos y enfermedades diarreicas. Se requieren mayores esfuerzos en todos los países y sectores para comprender mejor el efecto de la variabilidad climática en la salud humana e integrar estrategias para abordar los problemas de salud sensibles al clima en los programas y políticas de salud existentes. También será necesario aumentar la sensibilización y el diálogo entre diferentes ministerios para garantizar que estas cuestiones se reflejen adecuadamente en otras políticas sectoriales que se ocupan del cambio climático, incluidos los programas de integración de la agricultura en los planes nacionales de adaptación. Esto es importante, ya que el efecto del cambio climático en la salud humana afectará la productividad en el sector agrícola y otros sectores.

La magnitud de los efectos del cambio climático y las estrategias de respuesta disponibles para los distintos segmentos de la población dependen en gran medida de su condición socioeconómica, normas socioculturales, acceso a los recursos, pobreza y cuestiones de **género y edad** (FAO, 2018b; 2019b). **Las mujeres y la juventud se encuentran entre los grupos de mayor riesgo en lo que respecta a las repercusiones del cambio climático**, pero no se cuenta con investigación sobre los efectos específicos del cambio climático en estos grupos en relación con su participación en las cadenas de valor mundial del aguacate. Esto, a pesar del importante papel que desempeñan las mujeres en la cosecha y empaque de ambos productos. Se necesita urgentemente una investigación en temas de género para comprender mejor los factores clave que explican las diferencias en la vulnerabilidad a los riesgos del cambio climático entre mujeres y hombres, y cómo formular estrategias de adaptación adecuadas para abordarlos.

Otros estudios han demostrado que la violencia (incluida la violencia física, psicológica y reproductiva) contra las mujeres es más acentuada después de los desastres ocasionados por amenazas naturales, con ulteriores consecuencias para el bienestar de las mujeres (Sloand *et al.*, 2015). Las mujeres y las niñas enfrentan mayores riesgos de sufrir violencia de género después de un evento climático u otras crisis inesperadas (por ejemplo, el brote de la COVID-19) (Sloand *et al.*, 2015). Por ejemplo, las crisis tienden a intensificar las tensiones domésticas y sociales debido al aumento del desempleo, la mayor dependencia económica de las mujeres de su pareja que sustenta la familia y la escasez de servicios básicos (por ejemplo, alimentos, agua, carreteras). La violencia de género ha sido un problema ampliamente señalado en otras cadenas de valor agroalimentarias orientadas a la exportación,



incluidas las del banano, la uva y las hortalizas (BERD y CDC, 2019), lo que sugiere que también podría ser una preocupación en el sector del aguacate.

Como se analiza a lo largo de la guía, el cambio climático influirá en la producción de alimentos a través de efectos directos e indirectos en los procesos de crecimiento de los cultivos, lo que tiene **implicaciones para la seguridad alimentaria y la nutrición**. El colapso de los sistemas alimentarios debido al aumento de las temperaturas, la escasez de tierra y agua, las inundaciones, las sequías y los desplazamientos, afectará negativamente la producción agrícola y afectará desproporcionadamente a las personas más vulnerables, que ya se enfrentan al hambre y la inseguridad alimentaria. Los grupos vulnerables corren el riesgo de un mayor deterioro en la disponibilidad de alimentos y en la nutrición cuando se exponen a fenómenos climáticos extremos. El aguacate forma parte de una dieta saludable y es una fuente importante de vitaminas y nutrientes para los consumidores tanto de los países productores como de los importadores. Sobre esta base, las empresas de aguacate podrían considerar cómo podrían apoyar a las poblaciones vulnerables en sus comunidades locales a través de programas específicos de enlace social que tengan como objetivo mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición, como la contratación pública (por ejemplo, programas de alimentación escolar, servicios de comedores comunitarios) o los bancos de alimentos.

El Proyecto de Frutas Responsables reconoce que la **mejora de la capacidad de adaptación y la resiliencia climática de la cadena de valor del aguacate no se puede lograr enfocándose en un único actor**. Los complejos desafíos asociados con los efectos del cambio climático se resuelven mejor mediante la cooperación entre grupos de actores diferentes, incluidos gobiernos, empresas, organizaciones de productores, institutos de investigación y formación, sindicatos de trabajadores y otras organizaciones de la sociedad civil. Establecer mecanismos para la colaboración entre múltiples actores puede ser el enfoque más eficaz para abordar los efectos del calentamiento global en la industria aguacatera en el futuro. Las soluciones de adaptación actuales, destacadas en esta guía, y las brechas de conocimiento existentes (por ejemplo, fitomejoramiento y sistemas de alerta temprana) demuestran que se necesitan esfuerzos en todas las industrias de todos los países productores para colaborar con otros actores. Estas incluyen instituciones de investigación y ministerios relevantes para aumentar la disponibilidad de soluciones sostenibles de adaptación al clima identificadas a través de la investigación y desarrollo, y para promover una adopción generalizada a través de incentivos gubernamentales y diálogo sobre políticas. La adopción de prácticas de adaptación no solo requiere el desarrollo de nuevas tecnologías, sino también asistencia técnica (por ejemplo, a través de servicios de extensión y programas específicos de capacitación), intercambio de información (por ejemplo, datos y alertas climáticas, información sobre patógenos emergentes, etc.) y financiación o incentivos disponibles para la adopción de tecnologías y prácticas nuevas y potencialmente riesgosas.

A nivel institucional y normativo, el trabajo de la FAO es un paso esencial para ayudar a los países a integrar soluciones de adaptación específicamente para el sector agrícola como parte de los planes nacionales de adaptación más amplios desarrollados por los países, en línea con sus compromisos de contribuciones determinadas a nivel nacional. Si bien los programas de integración de la agricultura

en los planes nacionales de adaptación, desarrollados para dos de los países incluidos en esta guía (Colombia y Kenya) no se centran específicamente en el sector de las frutas tropicales, muchas de las medidas de adaptación propuestas son relevantes para la producción de frutas tropicales y han sido discutidas en el **Capítulo 4** de la guía (por ejemplo, manejo del agua, conservación del suelo, protección de la biodiversidad, agrosilvicultura, sistemas de alerta temprana). **Es útil comprender cómo sectores específicos de productos, como la producción y exportación de aguacate, pueden contribuir al logro de los objetivos de mitigación y adaptación establecidos en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional y los Planes Nacionales de Adaptación.** Una mejor comprensión puede ayudar a la industria a alinear sus esfuerzos con aquellos a nivel nacional y subregional y demostrar a los responsables de las políticas que la industria está realizando esfuerzos colectivos para apoyar estos planes. Se necesitan también esfuerzos para generar evidencia de los efectos de la implementación de prácticas de adaptación mediante un mejor seguimiento y evaluación para avanzar en este contexto.

El Proyecto de Frutas Responsables se ha comprometido a apoyar a los productores y exportadores de aguacate a nivel mundial, a través de la preparación de herramientas prácticas para enfrentar el cambio climático y otros riesgos de sostenibilidad identificados. El proyecto está preparando diversos materiales y herramientas técnicas adaptados a las industrias del aguacate, algunos de los cuales también son aplicables al sector de las frutas tropicales en general. Estos productos se describen a continuación.

La Guía técnica *Análisis de brechas para apoyar la debida diligencia en los sectores del aguacate y la piña* ayuda a las empresas a comparar los estándares y políticas que utilizan con los de la *Guía OCDE-FAO para las cadenas de suministro responsable en el sector agrícola*, que es el punto de referencia mundial en materia de debida diligencia y conducta empresarial responsable para el sector agrícola. Al utilizar la herramienta de análisis de brechas, las empresas pueden evaluar e identificar cómo sus operaciones están impactando en los ecosistemas en los que operan e identificar cualquier influencia negativa que puedan estar teniendo en el medio ambiente y el clima (entre otros factores). Al identificar estos riesgos y aprender a manejarlos, las empresas pueden mejorar su desempeño empresarial, aumentar la sostenibilidad y fortalecer la resiliencia a las crisis externas, incluidos los riesgos climáticos. En muchos países, las leyes recientemente aprobadas o propuestas exigen que las empresas lleven a cabo una debida diligencia basada en el riesgo para identificar, evaluar, mitigar, prevenir y dar cuenta de cómo abordan los efectos adversos reales y potenciales de sus actividades y las de sus proveedores y socios comerciales. Estas incluyen áreas relacionadas con el uso de agroquímicos y el manejo de recursos naturales, ambos con impactos directos en la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos.

El trabajo en curso del proyecto para desarrollar una herramienta de medición de la huella de carbono y de agua para la industria de la piña también contribuye a este objetivo. Una herramienta similar podría ser desarrollada para la industria del aguacate de haber suficiente interés y recursos disponibles.



El proyecto también ha llevado a cabo una serie de seminarios web técnicos que abordan algunos de los desafíos climáticos más apremiantes para el sector del aguacate. Entre otros, se incluyen **prevención de la deforestación**, uso de **agroquímicos y límites máximos de residuos**, **monitoreo y uso del agua**, **adaptación al cambio climático**, **protección de la biodiversidad**, reducción de pérdidas y desperdicios y **salud del suelo y degradación de la tierra**.

Asimismo, el proyecto llevó a cabo un estudio detallado para comprender los **desafíos de resiliencia que enfrenta el sector del aguacate**. El cambio y la variabilidad del clima ocupan un lugar destacado como desafío clave de resiliencia que enfrenta la industria. Sobre la base de los resultados de este estudio, el proyecto elaborará una guía técnica, resúmenes técnicos y actividades de desarrollo de capacidades para abordar áreas que apoyan directa e indirectamente los esfuerzos de las empresas para adaptarse y transformarse frente a futuros eventos climáticos extremos y un clima cambiante. La guía técnica se centrará en apoyar a las empresas y asociaciones de la industria aguacatera para realizar un mejor seguimiento e informar sobre su progreso hacia la resiliencia y la sostenibilidad.

En conclusión, esta guía fue producida por el Proyecto de Frutas Responsables para aquellos productores y exportadores de aguacate que estén interesados en aprender más sobre el cambio climático y cómo se pueden adaptar a sus efectos en el contexto de sus propios sistemas comerciales. Se espera que esta publicación sea el punto de partida para la discusión sobre los efectos nacionales, regionales y locales del cambio climático en la producción de aguacate, y estimule la planificación conjunta para la investigación de soluciones de adaptación a fin de apoyar la sostenibilidad a largo plazo de la industria de exportación. Las limitaciones de la guía se abordaron en el Capítulo 1, dada la falta de tiempo y recursos para realizar una investigación científica longitudinal sobre el terreno, necesaria para responder a interrogantes específicas relacionadas con los efectos del cambio climático en el aguacate en el tiempo y en condiciones de producción diversas. De hecho, se necesita más investigación longitudinal específica de cada producto y zona para comprender mejor los riesgos climáticos y sus efectos a largo plazo en los cultivos de frutas tropicales e identificar soluciones de adaptación innovadoras.

Anexo 1

Recursos sugeridos



Las listas a continuación proporcionan material de referencia adicional, como sitios web, publicaciones técnicas y materiales de orientación, resúmenes de políticas, entre otros., que pueden ayudar a los productores, asociaciones y empresas a aprender más sobre el cambio climático, sus efectos en el sector de las frutas tropicales y las opciones de adaptación disponibles. También se sugieren algunas herramientas que pueden ayudar a los actores de la industria aguacatera a definir sus objetivos de adaptación y realizar un seguimiento del progreso hacia ellos.

Publicaciones y artículos técnicos y de orientación

Aguacate

Alianza Bioversity International y CIAT. 2020. *Concept Note Development of Climate Risk Profiles for Agricultural Commercialization Clusters (ACC)*, (Nota conceptual Desarrollo de perfiles de riesgo climático para clusters de comercialización agrícola). Roma, Alianza Bioversity y CIAT. [Consultado el 16 de junio de 2023] <https://alliancebioversityciat.org/publications-data/concept-note-development-climate-risk-profiles-agricultural-commercialization>

Avila-Campos, J. y Buitrago, L. 2020. *Sistemas agropecuarios sostenibles, biodiversidad y servicios ecosistémicos: Aguacate*. WCS (Web Coverage Service). www.researchgate.net/publication/349640678_Sistemas_agropecuarios_sostenibles_biodiversidad_y_servicios_ecosistemicos_Aguacate

Castillo, N. y Van Zonneveld, M. 2015. *Potencial ecológico de frutales nativos del neotrópico, aguacate y anonas, en la diversificación de los paisajes cafetales en América Central como estrategia de adaptación al Cambio Climático: Informe Técnico*. Copenhague, Programa de investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS). [Consultado el 16 de junio de 2023]. <https://alliancebioversityciat.org/publications-data/potencial-ecologico-de-frutales-nativos-del-neotropico-aguacate-y-anonas-en-la>

Díaz Ramírez, L., Hurtado, J., Charry, A. y Jäger, M. 2021. *Brechas tecnológicas de la cadena productiva del aguacate Hass en el Valle del Cauca y descripción del estado del arte*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80835>

Díaz Ramírez, L., García Botina, M., Jäger, M. y Hurtado, J. 2021. *Plan de investigación y desarrollo de la cadena productiva del aguacate Hass en el Valle del Cauca a partir de sus principales brechas tecnológicas*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80858>

Fontagro. 2016. Fruit Productivity and Competitiveness Andean. Estados Unidos de América. [Consultado el 16 de junio de 2023]. www.fontagro.org/new/proyectos/productividad-y-competitividad-fruticola-andina/en

Jinés León, A. y Eitzinger, A. 2021. *Identificación de las zonas de ladera aptas para el cultivo de aguacate Hass en el territorio del Valle del Cauca*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80866>

Martínez, E., Moreno-Ortega, G. & Pliego, C. 2021. Manejo sostenible del riego en el cultivo de aguacate. Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. [Consultado el 16 de junio de 2023]. www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/32ee03ab-2ea6-489b-926f-0bb126945700

Rainforest Alliance. 2022. Aguacates más sostenibles para mercados más responsables. Rainforest Alliance, 6 May 2022. United States of America. [Consultado el 16 de junio de 2023]. www.rainforest-alliance.org/es/perspectivas/aguacates-sostenibles-mercados-responsables/

Ruiz, A. 2020. Cultivo eficiente y sostenible de aguacate con el programa Ecoculture. Ecoculture, 8 de junio de 2020. Almería, España. [Consultado el 16 de junio de 2023]. <https://ecoculturebs.com/cultivo-eficiente-y-sostenible-de-aguacate-con-el-programa-ecoculture>

USAID. 2019. *Avocado production manual (Persea Americana L.)*. Feed for the Future Tanzania. https://fintracu.fintrac.com/sites/default/files/tech_manuals/Fintrac%20U_Avocado%20Production%20Manual.pdf

Sector productivo en general

FAO. 2023. *SEPAL (System for earth observation data access, processing and analysis for land monitoring)*. Roma. www.fao.org/3/cb2876en/cb2876en.pdf

Global Nature Fund. 2010 The biodiversity check – The tool for managing Biodiversity in companies. International Foundation for Environment and Nature. Germany. www.globalnature.org/bausteine.net/f/9931/Insp4Bio_5_TheBiodiversitycheck.pdf?fd=0

Miles, L., Agra, R., Sengupta, S., Vidal, A. y Dickson, B. 2021. Nature-based solutions for climate change mitigation. IUCN y ONU Medio Ambiente. www.unep.org/resources/report/nature-based-solutions-climate-change-mitigation

Pronaturaleza – Fundación Peruana por la Conservación de la Naturaleza. 2021. *Hotspot de biodiversidad de los Andes tropicales*. Perú, Critical Ecosystem Partnership Fund. www.cepf.net/sites/default/files/tropical-andes-ecosystem-profile-2021-spanish.pdf



United Nations Environment Programme. 2015. Microfinance for ecosystem-based adaptation measures – Options, costs and benefits. Panamá. www.unep.org/resources/publication/microfinance-ecosystem-based-adaptation-options-costs-and-benefits

Herramientas y sitios web

Banco Mundial. 2022. Climate Change Knowledge Portal for development practitioners and policymakers. En: Grupo del Banco Mundial [en línea]. Washington. [Consultado el 7 de octubre de 2022]. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org>

PMA (Programa Mundial de Alimentos). 2023. WFP Dataviz - Monitoreo de evaluación de vulnerabilidad (VAM). <https://dataviz.vam.wfp.org>

WeADAPT. 2023. Planificación, investigación y práctica de la adaptación al cambio climático: una plataforma colaborativa sobre cuestiones de adaptación al cambio climático. [Consultado el 18 de Agosto de 2023]. www.weadapt.org/

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2023. Plataforma Contribuciones a la Naturaleza. [Consultado el 19 June 2023]. <https://www.iucn.org/es/resources/herramienta-de-conservacion/plataforma-contribuciones-la-naturaleza>

ONU Medio Ambiente. 2023. Lista de proyectos de adaptación al cambio climático. En: ONU Medio Ambiente, Adaptación climática. <https://www.unep.org/es/explore-topics/cambio-climatico/lo-que-hacemos/adaptacion-al-cambio-climatico/lista-de-proyectos-de>

Open Foris. 2023. Soluciones gratuitas de código abierto para el monitoreo ambiental. <https://openforis.org/>

Red Internacional de Bosques Modelo. 2019. *Caja de herramientas para los Bosques Modelo - Manual de instrucciones.* Ottawa, Canadá. <https://ribm.net/resources/herramientas-y-guias/>

GreenFacts. 2022. Temas. En: GreenFacts, Facts on Health and the Environment. [Consultado el 16 de junio de 2023]. www.greenfacts.org/es/dosieres/temasindex.htm

GreenFacts. 2022. Biodiversidad – Perspectiva mundial. En: GreenFacts, Facts on Health and the Environment. [Consultado el 16 de junio de 2023]. www.greenfacts.org/es/biodiversidad-perspectiva-mundial/enlaces/index.htm

GBIF (Global Biodiversity Information Facility). 2023. Free and open access to biodiversity data. Copenhagen, Secretariado GBIF. [Consultado el 16 de junio de 2023]. www.gbif.org/es/

FAO. 2023. SEPAL Monitoreo de Bosques y Tierras para la Acción Climática. En: FAO. Roma. [Consultado el 19 de junio de 2023]. www.fao.org/in-action/sepal/overview/es

FAO. 2023. Alianza Mundial por los Suelos. en: FAO. Roma. [Consultado el 16 de junio de 2023]. www.fao.org/global-soil-partnership/es

FAO. 2023. Conservación de suelos y aguas en América Latina y el Caribe áter. En: FAO. Roma. [Consultado el 16 de junio de 2023]. www.fao.org/americas/prioridades/suelo-agua/es

FAO. 2023. Centro de conocimiento sobre cambio climático En: FAO Cambio climático. www.fao.org/climate-change/knowledge-hub/es

FAO. 2023. Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Cambio Climático en el Sector Agropecuario . Colombia. En: FAO Colombia. [Consultado el 16 de junio de 2023] <https://cambioclimatico.fao.org.co>

FAO 2023. Caja de herramientas para el riesgo climático. En: FAO. [Consultado el 19 de junio de 2023]. <https://data.apps.fao.org/crtb/>

CEPF (Critical Ecosystem Partnership Fund). 2023. Explore los hotspots de biodiversidad. En: Critical Ecosystem Partnership Fund, Proteger la biodiversidad empoderando a las personas . [Consultado el 16 de junio de 2023]. <https://es.cepf.net/node/1996>

CABI. 2023. CABI Biblioteca digital – Investigación y aprendizaje en agricultura, medio ambiente y ciencias de la vida aplicadas . [Consultado el 15 de marzo de 2023]. www.cabidigitallibrary.org

Notas de orientación y publicaciones completas

Banco Mundial. 2022. Informes de perfil de riesgo país. Roma. [Consultado el 3 de febrero de 2023]. <https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0041074>

Parker, L., Bourgoin, C., Martinez-Valle, A. & Läderach, P. 2019. *Vulnerability of the agricultural sector to climate change: The development of a pan-tropical Climate Risk Vulnerability Assessment to inform sub-national decision making.* PLoS ONE 14(3): e0213641. Australia, Universidad del sur de Queensland. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213641>

Hallegatte, S., Rentschler, J. & Rozenberg, J. 2020. Principios de adaptación: una guía para diseñar estrategias de adaptación y resiliencia al cambio climático. Banco Mundial, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10986/34780>

GIZ. 2021. *El cambio climático y sus efectos en la producción de banano en Colombia, Costa Rica, República Dominicana y Ecuador.* https://www.nachhaltige-agrarlieferketten.org/fileadmin/user_upload/Climate_change_and_its_effects_on_banana_production_Spanish.pdf

FAO y PNUD. 2023. *Mapeo, divulgación y participación del sector privado en sistemas agroalimentarios sensibles al clima - Serie de guías de participación del sector privado de SCALA.* Marzo 2023. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc4689en>

Referencias

- Acosta-Rangel, A., Li, R., Mauk, P., Santiago, L. y Lovatt, C.** 2021. Effects of temperature, soil moisture and light intensity on the temporal pattern of floral gene expression and flowering of avocado buds (*Persea americana* cv. Hass). *Scientia Horticulturae*.
- Alon, E., Shapira, O., Azoulay-Shemer, T. y Rubinovich, L.** 2022. Shading nets reduce canopy temperature and improve photosynthetic performance in 'Pinkerton' avocado trees during extreme heat events. *Agronomy*, 12(6): 1360. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061360>
- Altieri, M., Fonseca, J., Caballero, J. y Hernandez, J.** 2006. Manejo del agua y restauración productiva en la región indígena Mixteca de Puebla y Oaxaca. http://centro.paot.org.mx/documentos/bm/man_agua_res_pro.pdf
- Altieri, M.A. y Nicholls, C.I.** 2004. An agroecological basis for designing diversified cropping systems in the tropics. *Journal of Crop Improvement*, 11(1-2): 81-103. https://doi.org/10.1300/J411v11n01_05.
- Álvarez-Bravo, A., Salazar-García, S., Ruiz-Corral, J.A. y Medina-García, G.** 2017. Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate 'Hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (19): 4035-4048.
- Anguiano, C.J., Alcántar, R.J., Toledo, B.R., Tapia, L.M. y Vidales-Fernández, J.A.** 2007. Soil and climate characterization of the avocado-producing area of Michoacán, Mexico. *Proceedings VI World Avocado Congress*. <http://avocadosource.com/wac6/en/Extenso/3c-112.pdf>
- Armenta-Bojórquez, A.D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J.R., Apodaca-Sánchez, M.Á., Gerardo-Montoya, L. y Nava-Pérez, E.** 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1): 51-56.
- Arpaia, M., Collin, S., Sievert, J. y Obenland, D.** 2018. 'Hass' avocado quality as influenced by temperature and ethylene prior to and during final ripening, *Postharvest Biology and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.015>
- Assouline, S., Hochberg, U. y Silber, A.** 2021. The impact of tree phenology on the response of irrigated avocado: the hysteretic nature of the maximum trunk daily shrinkage. *Agricultural Water Management*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107104>
- Banco Mundial.** 2022. Climate Change Knowledge Portal for development practitioners and policymakers. En: Banco Mundial [online]. Washington. [Consultado el 7 de octubre de 2022]. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org...>
- Banco Mundial.** 2022. Informes de perfil de riesgo país. Roma. [Consultado el 3 de febrero de 2023]. <https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0041074>

- Bar-Noy, Y., Sofer-Arad, C., Perel, M., Cohen, H., Senesh, N., Noy, M. y Rubinovich, L.** 2019. Frost protection efficiency evaluation in avocado with a horizontal wind machine. *Fruits, The International Journal of Tropical and Subtropical Horticulture*, 74(3): 124-129.
- Barra, P., Inostroza, N., Mora, M.L., Crowley, D. y Jorquera, M.** 2017. Bacterial consortia inoculation mitigates the water shortage and salt stress in an avocado (*Persea americana* Mill.) nursery. *Applied Soil Ecology*, 111: 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.11.012>
- Ben Taleb, H.N.B., Rabea, Z., Farré, J.M y Gmira, N.** 2018. Comparison of the technical management of avocado trees between Morocco and Spain. <https://core.ac.uk/download/pdf/234662747.pdf>
- Bergh, B.** 1976. Avocado breeding and selection. *Proceedings of the First International Tropical Fruit Short Course: The Avocado*. Universidad de Florida. 24-33.
- Bessert, L.** 2022. Keyline Design- water management of agricultural landscapes: Key for Regenerative agriculture? Universidad de Kassel. https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2023/01/bessert-Keyline_angepasst.pdf
- Beyer, C.P., Cuneo, I.F., Alvaro, J.E. y Pedreschi, R.** 2021. Evaluation of aerial and root plant growth behavior, water and nutrient use efficiency and carbohydrate dynamics for Hass avocado grown in a soilless and protected growing system. *Scientia Horticulturae*, 277: N.PAG-N.PAG. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109830>
- Bhattacharjee, P., Warang, O., Das, Sh. y Das, S.** 2022. Impact of climate change on fruit crops- A review. *Current World Environment*. 17 (2). India. 319-330 p. <http://dx.doi.org/10.12944/CWE.17.2.4>
- Biazin, B., Hailelassie, A., Zewdie, T., Mekasha, Y., Gebremedhin, B., Fekadu, A. & Shewage, T.** 2018. Smallholders' avocado production systems and tree productivity in the southern highlands of Ethiopia. *Agroforestry Systems*, 92(1): 127-137. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0020-2>
- Brookes, G.** 2022. Genetically Modified (GM) Crop Use 1996–2020: Impacts on Carbon Emissions. *GM Crops and Food*, 13(1): 242–261.
- Buxton, M.N., Hoare, R.J.B., Broussard, M.A., Van Noort, T., Fale, G.R.T., Tamatea, N. & Pattemore, D.** 2023. Moths as potential pollinators in avocado (*Persea americana*) orchards in temperate regions. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 51:1, 27-38. <https://doi.org/10.1080/01140671.2021.1966480>
- Caldana, N.F.d.S., Nitsche, P., Martelócio, A., Rudke, A., Zaro, G., Batista Ferreira, L., Contador Zaccheo, P., Colucci de Carvalho, S. y Martins, J.** 2019. Agroclimatic risk zoning of avocado (*Persea americana*) in the hydrographic basin of Paraná River III, Brazil. *Agriculture*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/agriculture9120263>.

Referencias

- Cañas-Gutiérrez, G.P., Sepulveda-Ortega, S., López-Hernández, F., Navas-Arboleda, A.A. y Cortés, A.J.** 2022. Inheritance of yield components and morphological traits in avocado cv. Hass from “Criollo” “Elite Trees” via half-sib seedling rootstocks. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.843099>
- Castro Acosta, E.G., Aviles, A., Mendoza, C., López, A. y Secundino, K.** 2022. Cambio climático y producción de aguacate. www.researchgate.net/publication/357662730_Cambio_climatico_y_produccion_de_aguacate
- Çetin, Ö. y Akalp, E.** 2019. Efficient use of water and fertilizers in irrigated agriculture: drip irrigation and fertigation. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 22(2): 97-102.
- Chaddad, F.** 2016. Chapter 2 - Enabling Conditions. En: F. Chaddad, ed. *The Economics and Organization of Brazilian Agriculture*, pp. 19-44. San Diego, Academic Press.
- Chairani, S., Megawati, S., Novpriansyah, H., Banuwa, I.S. y Buchari, H.** 2018. Tracking the fate of organic matter residue using soil dispersion ratio under intensive farming in red acid soil of Lampung, Indonesia.
- Charre-Medellin, J.F., Mas, J.-F. y Chang-Martinez, L.A.** 2021. Potential expansion of Hass avocado cultivation under climate change scenarios threatens Mexican mountain ecosystems. *Crop & pasture science*. <https://doi.org/10.1071/CP20458>.
- Chawla, R., Sheokand, A., Rai, M. R. y Kumar, R.** 2021. Impact of climate change on fruit production and various approaches to mitigate these impacts. *The Pharma Innovation Journal*. 10(3): 564-571.
- Chernoivanov, S., Neuberger, I., Levy, S., Szenes, N. y Rubinovich, L.** 2022. Covering young Reed avocado trees with shading nets during winter alleviates cold stress and promotes vegetative growth. *Eur.J.Hortic.Sci.*, 87(1): 1-10. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2022/007>
- Chung, S., Rho, H., Lim, C., Jeon, M., Kim, S., Jang, Y. y An, H.** 2022. Photosynthetic response and antioxidative activity of ‘Hass’ avocado cultivar treated with short-term low temperature. *Scientific Report*, 12: 11593.
- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).** 2023. El Acuerdo de París – ¿Cómo funciona el Acuerdo de París? [Consultado el 2 de mayo de 2023] <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
- Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible.** 2010. El manejo forestal sostenible como estrategia de combate al Cambio Climático: las comunidades nos muestran el camino. México.
- Crane, J.H., Wasielewski, J., Carrillo, D., Gazis, R., Schaffer, B., Ballen, F., Evans, E. y Regalado, R.** 2020. Recomendaciones para la detección y mitigación de la marchitez del laurel en árboles de aguacates y especies relacionadas en jardines y patios hogareños. HS1358s/HS1384, 9/2020. *EDIS*, 2020(5).

Crumpler, K., Abi Khalil, R., Tanganelli, E., Rai, N., Roffredi, L., Meybeck, A., Umulisa, V., Wolf, J. y Bernoux, M. 2021. (Interim) Global update report – Agriculture, Forestry and Fisheries in the Nationally Determined Contributions. Environment and Natural Resources Management Working Paper No. 91. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7442en>

del Carmen Ponce-Rodríguez, M., Carrete-Carreón, F.O., Núñez-Fernández, G.A., de Jesús Muñoz-Ramos, J. y Pérez-López, M. 2021. Keyline in bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) for soil and water conservation. *Sustainability*, 13(17): 9982.

Díaz Grisales, V., Caicedo Vallejo, A.M. y Carabalí Muñoz, A. 2017. Ciclo de vida y descripción morfológica de *Heilipus lauri* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) en Colombia. *Acta zoológica mexicana*, 33(2): 231-242.

Dreistadt, S.H. 2007. Integrated pest management for avocados. Vol. 3503. UCANR Publications.

Dufour, R. 2015. Tipsheet: Crop rotation in organic farming systems. Estados Unidos de América. National Center for Appropriate Technology (NCAT). En: ATTRA Sustainable Agriculture <https://attra.ncat.org/publication/tipsheet-crop-rotation-in-organic-farming-systems/>

Dymond, K., Celis-Díez, J.L., Potts, S.G., Howlett, B.G., Willcox, B.K. & Garratt, M.P. 2021b. The role of insect pollinators in avocado production: A global review. *Journal of Applied Entomology*, 145(5): 369-383. <https://doi.org/10.1111/jen.12869>.

El Khayat, M., Halwani, D.A., Hneiny, L., Alameddine, I., Haidar, M.A. y Habib, R.R. 2022. Impacts of climate change and heat stress on farmworkers' health: A scoping review. *Frontiers in public health*, 10: 71.

Erazo-Mesa, E., Ramírez-Gil, J.G. y Sánchez, A. 2021. Hass needs water irrigation in tropical precipitation regime: evidence from Colombia. *Water*.

Esteve-Llorens, X., Ita-Nagy, D., Parodi, E., González-García, S., Moreira, M.T., Feijoo, G. y Vázquez-Rowe, I. 2022. Environmental footprint of critical agro-export products in the Peruvian hyper-arid coast: A case study for green asparagus and avocado. *Science of the Total Environment*, 818. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151686>

European Commission. 1998. Pan-European Criteria, indicators and operational level guidelines for sustainable forest management. Third Ministerial Conference on the protection of forests in Europe. Lisboa, Portugal.

Faber, B., Wilen, C., Eskalen, A., Morse, J., Hanson, B. y Hoddle, M. Updated regularly. **UC IPM Pest Management Guidelines: Avocado.** Davis.

Fan, J., Lu, X., Gu, S. y Xinyu, G. 2020a. Improving nutrient and water use efficiencies using water-drip irrigation and fertilization technology in Northeast China. *Agricultural Water Management*, 241: 106352. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106352>.

Referencias

- FAO y PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).** 2020a. *Toolkit for value chain analysis and market development integrating climate resilience and gender responsiveness*. Roma. www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1333257
- FAO y PNUD.** 2020b. *Using climate services in adaptation planning for the agriculture sectors*. Roma. www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1371846/
- FAO y PNUD.** 2023. *Progress in developing a national monitoring and evaluation system for adaptation in the agriculture sector: multi-country case study - January 2023*. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc3916en>
- FAO y WUR (Universidad de Investigación de Wageningen).** 2021. *Applying blockchain for climate action in agriculture: state of play and outlook*. The Hague and Roma. www.fao.org/3/cb3495en/cb3495en.pdf
- FAO.** 2011. *FAO-ADAPT Framework programme on climate change adaptation*. Roma. www.fao.org/3/i2317e/i2317e.pdf
- FAO.** 2016. *Adapting agriculture to climate change*. Roma. www.fao.org/3/au030e/au030e.pdf
- FAO.** 2017a. *Abordar la agricultura, la silvicultura y la pesca en los Planes Nacionales de Adaptación*. Roma. www.fao.org/publications/card/fr/c/l6714ES
- FAO.** 2017b. *La estrategia de la FAO sobre el cambio climático*. Roma. www.fao.org/documents/card/fr/c/7be11b93-8e8f-48a8-949b-083a2c5d434f
- FAO.** 2017c. *Tecnologías y prácticas para pequeños productores agrícolas (TECA)En: Rotación de cultivos en la agricultura de conservación*. Rome. [Consultado el 21 de febrero de 2023]. <https://teca.apps.fao.org/es>
- FAO.** 2018a. *Addressing sustainable crop production priorities in National Adaptation Plans*. Roma. www.fao.org/3/CA2930EN/ca2930en.pdf
- FAO.** 2018b. *Promoting gender-responsive adaptation in the agriculture sectors: Entry points within National Adaptation Plans*. Rome. www.fao.org/in-action/naps/resources/detail/ar/c/1114148/
- FAO.** 2019a. *Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets*. Roma. www.fao.org/3/ca4526en/ca4526en.pdf
- FAO.** 2019b. *Gender in adaptation planning for the agriculture sector – Guide for trainers*. Roma. www.fao.org/in-action/naps/resources/detail/en/c/1253017
- FAO.** 2020. *Major Tropical Fruits - Market Review 2019*. Roma. www.fao.org/3/cb0834en/CB0834EN.pdf
- FAO.** 2021a. *Public expenditure analysis for climate change adaptation and mitigation in the agriculture sector – A case study of Uganda*. Roma. [Consultado el 13 de junio de 2023]

- FAO.** 2021b. Climate change, biodiversity and nutrition nexus – Evidence and emerging policy and programming opportunities. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb6701en>
- FAO.** 2021c. Supporting developing countries to integrate their agricultural sectors into national adaptation plans. Roma. www.fao.org/3/cb5060en/cb5060en.pdf
- FAO.** 2021d. Climate smart agriculture case studies – projects from around the world. Roma. www.fao.org/3/cb5359en/cb5359en.pdf
- FAO.** 2022a. Análisis de resiliencia climática y de riesgo de desastres para cadenas de valor sensibles al género – Nota de orientación. Roma. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/CC0051ES>
- FAO.** 2022b. Gender, agrifood value chains and climate resilient agriculture. Roma. www.fao.org/3/cb9989en/cb9989en.pdf
- FAO.** 2022c. Council Paper June 13-17th. FAO strategy on climate change 2022-2031. Roma. www.fao.org/3/cc2274en/cc2274en.pdf
- FAO.** 2022d. Major Tropical Fruits - Statistical Compendium 2021. Roma. www.fao.org/3/cc2399en/cc2399en.pdf
- FAO.** 2022e. Principales frutas tropicales - Análisis del mercado 2021 Roma. www.fao.org/documents/card/en/c/CC1900ES
- FAO.** 2023a. Principales Frutas Tropicales. Análisis de Mercado 2022. Roma. www.fao.org/3/cc7108es/cc7108es.pdf
- FAO.** 2023b. FAOSTAT: Cultivos. En: FAO. Roma. [Consultado el 21 de marzo de 2023]. www.fao.org/faostat/es/#data/QCL
- FAO.** 2021e. Principales frutas tropicales - Análisis del mercado 2021. Roma. www.fao.org/documents/card/en/c/CC1900ES
- Fausey, N.R.** 2005b. Drainage, surface and subsurface. En: D. Hillel, ed. Encyclopedia of Soils in the Environment, pp. 409-413. Oxford, Elsevier.
- Fischer, G., Alejandro Cleves-Leguizamo, J. y Enrique Balaguera-LÓpez, H.** 2022. Impact of soil temperature on fruit species within climate change scenarios. Impacto de la temperatura del suelo sobre los frutales en escenarios de cambio climático., 16(1): 1-13. <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i1.12769>
- Frankowska, A., Jeswani, H.K. y Azapagic, A.** 2019. Life cycle environmental impacts of fruits consumption in the UK. Journal of Environmental Management, 248. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.012>
- Garbanzo, M.** 2015. Curso producción de aguacate de bajura. Contenido Técnico: Establecimiento de plantaciones de aguacate. Vol. 1. San José, Costa Rica.

- García, J.A.O., González, Y.N., González, J.A.H., Maldonado, S.H.G. & Bravo, A.Á.** 2017. Influence of climate and roughness on the tolerance to refrigeration of avocado 'Hass'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (19): 3911-3921. www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017001103911&lng=es&nrm=iso&tlng=en.
- García-Martínez, Y.G., Ballesteros, C., Bernal, H., Villarreal, O., Jiménez-García, L. y Jiménez-García, D.** 2016. Traditional agroecosystems and global change implications in Mexico. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 22(4): 548-565. <https://www.agrojournal.org/>.
- George, O., Odhiambo, G.D., Wagai, S. y Kwach, J.** 2019. An analysis of socioeconomic factors affecting avocado production in saline and flooded areas around Lake Victoria Basin of western Kenya. *African Journal of Agricultural Research*, 14(35): 2048-2061. <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/4E2CDE762512>.
- Ghane, E., Feyereisen, G., Rosen, C. y Tschirner, U.** 2018. Agricultural drainage. *Transactions of the ASABE*. 61(3): 995-1000. <https://doi.org/10.13031/trans.12642>.
- Girkin, N.T., Dhandapani, S., Evers, S., Ostle, N., Turner, B.L. y Sjögersten, S.** 2020. Interactions between labile carbon, temperature and land use regulate carbon dioxide and methane production in tropical peat. *Biogeochemistry*, 147(1): 87-97. <https://doi.org/10.1007/s10533-019-00632-y>.
- Glenn, G.M., Orts, W., Imam, S., Chiou, B.-S. & Wood, D.F.** 2014. Chapter 15 - Starch plastic packaging and agriculture applications. En: P.J. Halley y L. Avérous, eds. *Starch Polymers*, pp. 421-452. Amsterdam.
- Gobierno de Australia Occidental.** 2017. Growing avocados: Frost, Department of Primary Industries and Regional Development. [Consultado el 09 de febrero de 2023]. www.agric.wa.gov.au/frost/growing-avocados-frost#:~:text=Irrigating%20the%20day%20prior%20to,by%20protecting%20the%20main%20trunk.
- Goetsch, B., Urquiza-Haas, T., Koleff, P., Acevedo Gasman, F., Aguilar-Meléndez, A., Alavez, V., Alejandro-Iturbide, G. et al.** 2021. Extinction risk of mesoamerican crop wild relatives. *Plants, People, Planet*, 3(6): 775-795. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10225>.
- González-Cortés, J.C., Vega-Fraga, M., Varela-Fregoso, L., Martínez-Trujillo, M., Carreón-Abud, Y. y Gavito, M.E.** 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities and land use change: the conversion of temperate forests to avocado plantations and maize fields in central Mexico. *Fungal Ecology*, 5(1): 16-23. 10.1016/j.funeco.2011.09.002.
- Graefe, S., Tapasco, J. y Gonzalez, A.** 2013. Resource use and GHG emissions of eight tropical fruit species cultivated in Colombia. *Fruits (Paris)*, 68(4): 303-314. 10.1051/fruits/2013075
- Grüter, R., Trachsel, T., Laube, P. y Jaisli, I.** 2022. Expected global suitability of coffee, cashew and avocado due to climate change. *PLoS ONE*, 17(1): 1-24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261976>

HAB (Hass Avocado Board) y CIRAD (Centre de Cooperation International en Recherche Agronomique pour le Développement). 2019a. Country profile: Mexico - Producer country profile produced by CIRAD, The Centre De Cooperation International En Recherche Agronomique Pour Le Développement, in collaboration with HAB, The Hass Avocado Board. California. <https://hassavocadoboard.com/wp-content/uploads/2019/11/hab-marketers-country-profiles-2019-mexico.pdf>

HAB y CIRAD. 2019b. Country profile: Peru - Producer country profile produced by CIRAD, The Centre De Cooperation International En Recherche Agronomique Pour Le Développement, in collaboration with HAB, The Hass Avocado Board. California. <https://hassavocadoboard.com/wp-content/uploads/2019/11/hab-marketers-country-profiles-2019-peru.pdf>

HAB y CIRAD. 2020. Country profile: Chile - Producer country profile produced by CIRAD, The Centre De Cooperation International En Recherche Agronomique Pour Le Développement, in collaboration with HAB, The Hass Avocado Board. California. <https://hassavocadoboard.com/wp-content/uploads/hab-marketers-country-profiles-2020-chile.pdf>

HAB y CIRAD. 2022. Country profile: Colombia. Producer country profile produced by CIRAD, The Centre De Cooperation International En Recherche Agronomique Pour Le Développement, in collaboration with HAB, The Hass Avocado Board. California. <https://hassavocadoboard.com/wp-content/uploads/hab-marketers-country-profiles-2022-colombia.pdf>

Haque, S., Akbar, D. y Kinnear, S. 2020. The variable impacts of extreme weather events on fruit production in subtropical Australia. *Scientia Horticulturae*, 262: 109050. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109050>

He, D.A., He, M.H., Amalin, D.M., Liu, W., Alvindia, D.G. y Zhan, J.A. 2021. Biological control of plant diseases: an evolutionary and eco-economic consideration. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101311>

Hernández-Valencia, A.S., Tapia-Vargas, L.M., Hernández-Pérez, A. & Larios-Guzmán, A. 2021. Evaluación de fertilizantes orgánicos y su efecto en la nutrición y desarrollo del aguacate. *Contribuciones tecnológicas para el futuro forestal y agropecuario Veracruzano*.

Herrera, T., Parejo, V. & González-Delgado, Á. 2022. Environmental analysis of avocado (*Laurus Persea L.*) oil production in north Colombia using the waste reduction algorithm. *CET Journal - Chemical Engineering Transactions*, 91: 235-240. <https://doi.org/10.3303/CET2291040>.

Holmes, M. & Farrell, D. 1993. Orchard microclimate as modified by windbreaks: a preliminary investigation. En: *South African Avocado Growers' Association Yearbook 1993*, pp. 59-64.

Hormaza, I. 2014. Factors influencing avocado fruit set and yield. *From the Grove*. Verano, 2014, 34-36.

Howden, M., Newett, S. & Deuter, P. 2005. Climate change-risks and opportunities for the avocado industry. *Proceedings of the New Zealand and Australian Avocado Grower's Conference*. Holland, P.(Eds.) Tauranga, New Zealand, pp. 1-28.

<https://mexico.infoagro.com/beneficios-de-la-rotacion-de-cultivos/> [Benefits from crop rotation].

<https://www.fruits-journal.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=8953991&fulltextType=RA&fileId=S0248129413000753>

Hunter. 2023. Drip irrigation design and installation guide. [Consultado el 18 de febrero de 2023]. chwd.org/wp-content/uploads/Hunter-Drip-Irrigation-Design-Guide.pdf

InfoAgro. 2022. Beneficios de la rotación de cultivos. En: Infoagro, México. [Consultado el 3 de marzo de 2023].

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2021. Cambio climático 2021: La base de la ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos de América. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

IPCC. 2022. Climate change 2022. Impacts, adaptation and vulnerability. En: IPCC. www.ipcc.ch/report/ar6/wg2

IPCC. 2023. Resumen para responsables de políticas. En: Cambio climático 2023: Informe de síntesis del Sexto Informe de Evaluación. Contribución de los grupos de trabajo I, II and III al Sexto Informe de Evaluación del IPCC [eEquipo de redacción, H. Lee and J. Romero (eds.)]. Ginebra, Suiza, 36 p.

Irmer, S., Podzun, N., Ranjan, P., Patle, G.T., Prem, M. y Solanke, K.R. 2017b. Organic Mulching- A Water Saving Technique to Increase the Production of Fruits and Vegetables. Current Agriculture Research Journal, 5(3). <https://doi.org/10.12944/CARJ.5.3.17>.

Ish-Am, Gad. 2005. Avocado pollination - a review. New Zealand and Australia Avocado Growers' Conference, Tauranga, Nueva Zelanda.

Johansson, E.L., Brogaard, S. y Brodin, L. 2022. Envisioning sustainable carbon sequestration in Swedish farmland. Environmental Science & Policy, 135: 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.04.005>.

Katzir, R. 2014. Advance farming in the desert - the Israeli experience. In A. El-Beltagy, W. Tao & M.C. Saxena, eds. pp. 535-541., International Dryland Development Commission (IDDC). Cairo, Egipto.

Kourgialasy, N.N. y Dokou, Z. 2021. Water management and salinity adaptation approaches of Avocado trees: A review for hot-summer Mediterranean climate. Agricultural Water Management, 252. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106923>.

Lagumbay, V.F.K., Cabillar, D.M.A., Jumoc, R.M.A., Quiling, R.M.W. y Canencia, O.P. 2017. Food security and sustainability in the changing climate: the case of developing country. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 5(11): 1577-1586. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2017.11227>

- Lahav, E., Whiley, W., Schaffer, B. y Wolstenholme, N.** 2002. Irrigation and mineral nutrition. En: CABI, ed. The avocado: botany, production and uses, pp. 259-297.
- Lahlali, R., Ezrari, S., Radouane, N., Kenfaoui, J., Esmaeel, Q., El Hamss, H., Belabess, Z. y Barka, E.A.** 2022. Biological control of plant pathogens: A global perspective. *Microorganisms*, 10(3): 596.
- Lal, N. y Sahu, N.** 2017. Management strategies of sun burn in fruit crops-A Review. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.606.131>
- Lang, T.D., S. y Lentini, R.** 2023. Water management for florida sugarcane Production 1. University of Florida. IFAS Extension.
- Langel, D., Heidemann, F., Kaltenecker, E., Schemmerling, B., Geilfus, C.-M., Zörb, C. y Ober, D.** 2015. New aspect of plant–rhizobia interaction: alkaloid biosynthesis in *Crotalaria* depends on nodulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(13): 4164-4169.
- Liu, P.** 2017. Socio-economic impacts of climate change on the tropical fruit industry. How can the industry address them? Presentación de conferencia en Simposio sobre Frutas Tropicales, 23-25 October 2017. Fiji, International Tropical Fruit Network. <http://itfnet.org/Download/ISTF2017/KEYNOTE.pdf>
- Livestock Engineering Unit y Environmental Practices Unit.** 2005. Manure composting manual. Alberta – Agriculture, food and rural development. Canadá. [www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex8875/\\$file/400_27-1.pdf?OpenElement](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex8875/$file/400_27-1.pdf?OpenElement)
- Lobell, D.B., Field, C.B., Cahill, K.N. y Bonfils, C.** 2006. Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties. *Agricultural and Forest Meteorology*, 141(2): 208-218. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.10.006>
- López Encina, C., Parisi, A., O'Brien, C. y Mitter, N.** 2014. Enhancing somatic embryogenesis in avocado (*Persea americana* Mill.) using a two-step culture system and including glutamine in the culture medium. *Scientia Horticulturae*, 165: 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.019>
- López Silva, A.A. y Vega Norori, I.** 2004. Cultivos de cobertura para sistemas de cultivos perennes. Guía Técnica. Nicaragua, Universidad Nacional Agraria.
- López, R., González-Fernández, J., Galea, Z., Álvarez, J.M. e Iñaki, J.** 2015. Evaluation of composition and performance of composts derived from guacamole production residues. *Journal of Environmental Management*, 147: 132-139. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.016>.
- Lovatt, C.** 2010. Alternate bearing of 'Hass' avocado: A summary of basic information to assist growers in managing their orchards California Avocado Soc. Yrbk. 125-140.
- Lugo, A.** 2018. Prácticas agroforestales en san Vicente del Caguán, una forma de conservar el medio ambiente. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

Referencias

- Maes, M.J.A.** 2022. Monitoring exposure to climate-related hazards: Indicator methodology and key results. OECD Environment Working Papers (OECD): no. 201. OECD. Paris.
- Martín Gil, A. y Aranda Aranda, G.** 2021. Guía de gestión integrada de plagas para el cultivo de aguacate. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- Marulanda, A., Ruiz-Ruiz, M. y Cortes-Rodríguez, M.** 2018. Influence of spray drying process on the quality of avocado powder: a functional food with great industrial potential. *Vitae*, 25(1): 37-48.
- Mary, N.** 2020. The use of cover crops to increase yield and reduce pest pressure in a commercial avocado orchard at Levubu, Limpopo province.
- Mendes, L.R.D.** 2021. Nitrogen removal from agricultural subsurface drainage by surface-flow wetlands: variability. *Processes*, 9(1): 156.
- Mesa E., Guillermo Ramírez-Gil, J. & Echeverri Sánchez, A.** 2021. Avocado cv. Hass needs water irrigation in tropical precipitation regime: Evidence from Colombia. *Water* 2021, 13(14). <https://doi.org/10.3390/w13141942>
- Michel, K., Weninger, T., Scheper, S., Lackóová, L., Kitzler, K., Gartner, K., King, N.W., Cornelis, W. y Strauss, P.** 2021. Ecosystem services of tree windbreaks in rural landscapes - a systematic review. *Environmental Research Letters*, 16(10). <https://103002>. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1d0d>.
- Mitra, S.K.** 2016. Climate change: impact, and mitigation strategies for tropical and subtropical fruits. VI International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits 1216. p. 1-12. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1216.1>
- Mohale, M.P., Manyevere, A., Parwada, C. y Zerizghy, M.** 2022. Effect of eucalyptus-wood-based compost application rates on avocado (*Persea americana* Mill) foliar nutrient content and fruit yield. *Agronomy*, 12(2): 477.
- Montiel-Aguirre, G., Krishnamurthy, L., Vázquez-Alarcón, A. y Uribe-Gómez, M.** 2008. Opciones agroforestales para productores de aguacate. *Terra Latinoamericana*, 26(1): 85-90. [Agroforestry options for avocado producers. *Terra Latinoamericana*, 26(1): 85-90.].
- Naciones Unidas.** 2023. UN Comtrade Database. Department of Economic and Social Affairs. [Consultado el 6 de marzo de 2023]. <https://comtradeplus.un.org>
- Nataren Velazquez, J., del Ángel Pérez, A. L., Megchún-García, J. V., Ramírez Herrera, E. y Meneses Márquez, I.** 2020. Productive characterization of avocado (*Persea americana* Mill.) in the high mountain area Veracruz, Mexico.
- Nath, V., Kumar, G., Pandey, S.D. y Pandey, S.** 2019. Impact of Climate Change on Tropical Fruit Production Systems and its Mitigation Strategies. *Climate Change and Agriculture in India: Impact and Adaptation* pp 129–146. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90086-5_11

- Nieto Flores, D.** 2017. Inducción de variabilidad en aguacate cv. Hass mediante mutagénesis radioinducida. Universidad Autónoma del Estado de México. Mexico.
- Oberschelp, J., Harrand, L., Mastrandrea, C., Salto, C. y Florez, M.** 2020. Cortinas forestales: rompevientos y amortiguadoras de deriva de agroquímicos. EEA Concordia. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ediciones INTA. Buenos Aires.
- Oloo, J., Makenzi, P., Mwangi, J. y Abdulrazack, A.** 2013. Dominant tree species for increasing ground cover and their distribution in Siaya County, Kenya. IJAJR, 2(3): 373-377.
- Omar, A.E.-D.** 2014. Bagging of bunches with different materials influences yield and quality of Rothana date palm fruit. Journal of Food Agriculture and Environment, Volume 2: 520-522.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial).** 2022. Global status of multi-hazard early warning systems: Target G. Ginebra, Suiza, Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11333
- ONU Medio Ambiente.** 2015. Microfinance for ecosystem-based adaptation measures – Options, costs and benefits. Panamá.
- Ortega, G.M.** 2022. Manejo del estrés hídrico en aguacate: efectos en la productividad y en el control de la podredumbre blanca radicular. España. UMA Editorial.
- Osorio-Almanza, L., Burbano-Figueroa, Ó., Arcila, C.A., Vásquez, B.A., Carrascal-Pérez, F. y Romero, F.J.** 2017. Distribución espacial del riesgo potencial de marchitamiento del aguacate causado por *Phytophthora cinnamomi* en la subregión de Montes de María, Colombia. Colombia.
- Parker, L., Pathak, T. y Ostoja, S.** 2021. Climate change reduces frost exposure for high-value California orchard crops. Science of the Total Environment, 762. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143971>
- Pattemore, D., Buxton, M., Cutton, B., McBrydie, H., Goodwin, R.M. y Dag, A.** 2018. Low overnight temperatures associated with a delay in 'Hass' avocado (*Persea americana*) female flower opening, leading to nocturnal flowering. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2018\)12](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2018)12)
- Peña Mojica, J. y Carabalí, A.** 2018. Effect of honeybee (*Apis mellifera* L.) density on pollination and fruit set of avocado (*Persea americana* Mill.) Cv. Hass. Journal of Apicultural Science, 62. <https://doi.org/10.2478/jas-2018-0001>
- Pérez Galarce, F.** 2016. Sistemas de alerta temprana para el control de alternaria en tomate. Villa Alegre, 338.
- Polón, R., Ruiz, M., Dell'Amico, J., Morales, D., Jerez, E., Ramírez, M. y Maqueira, L.** 2011. Principales beneficios que se alcanzan con la práctica adecuada del drenaje agrícola. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Prem Ranjan, G.T.P., Prem, M. y Solanke, K.R..** 2017. Organic mulching- a water saving technique to increase the production of fruits and vegetables. <https://doi.org/10.12944/CARJ.5.3.17>

Referencias

- Puno, G.R., Puno, R.C. y Maghuyop, I.V.** 2021. Two-dimensional flood model for risk exposure analysis of land use/land cover in a watershed. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 7(2): 225-238. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2021.02.06>
- Ramirez-Gil, J.G., Henao-Rojas, J.C. y Morales-Osorio, J.G.** 2020. Mitigation of the Adverse Effects of the El Niño (El Niño, La Niña) Southern Oscillation (ENSO) Phenomenon and the Most Important Diseases in Avocado cv. Hass Crops. *PLANTS-BASEL*, 9(6): 790. <https://doi.org/10.3390/plants9060790>.
- Ramírez-Gil, J.G., Martínez, G.O.G. y Morales Osorio, J.G.** 2018. Design of electronic devices for monitoring climatic variables and development of an early warning system for the avocado wilt complex disease. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153: 134-143. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.002>.
- Red Internacional de Bosques Modelo.** 2019. Caja de herramientas para los Bosques Modelo - Manual de instrucciones. Ottawa, Canadá. <https://ribm.net/resources/herramientas-y-guias>
- Reeksting, B.J., Olivier, N.A. y van den Berg, N.** 2016. Transcriptome responses of an ungrafted Phytophthora root rot tolerant avocado (*Persea americana*) rootstock to flooding and Phytophthora cinnamomic. *BMC Plant Biol.*
- Remy, S., Carvalho, L.J., Jakopi, J., Larrieu, J.-F., Soršak, A. y Brugner, A.** 2019. EIP-AGRI Focus Group. https://eu-cap-network.ec.europa.eu/sites/default/files/publication/2023-05/eip-agri_fg_renewable_energy_on_the_farm_final_report_2019_en.pdf
- Rocha-Arroyo, J.L., Salazar-García, S., Bárcenas-Ortega, A., González-Durán, I. y Cossio-Vargas, L.** 2011. Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3): 303-316.
- Rodríguez Pleguezuelo, C.R., Francia Martínez, J.R., García Tejero, I.F., Gálvez Ruíz, B., Franco Tarifa, D. y Durán Zuazo, V.H.** 2018. Chapter 14 - Avocado (*Persea americana* Mill.) trends in water-saving strategies and production potential in a Mediterranean climate, the study case of Spain: A Review. En: I.F. García Tejero & V.H. Durán Zuazo, eds. *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment*, pp. 317-346. Academic Press.
- Rodríguez Y., G., Palacios, S., Benavides, D., Vallejo, B., López, J., Betancourt Vásquez, M. y Patiño, A.** 2017. Cultivo de Aguacate: Prácticas y recomendaciones de manejo integrado. Corporación Universitaria Santa Rosa de Cabal (UNISARC).
- Rubina Sherpa, R.D., Sadashiv Narayan Bolbhat, Tukaram Dayaram Nikam y Suprasanna Penna** 2022. Gamma radiation induced in-vitro mutagenesis and isolation of mutants for early flowering and phytomorphological variations in dendrobium 'Emma White'. <https://doi.org/10.3390/plants11223168>
- SAAGA (South African Grower Association).** 2023. SAGA. South Africa. [Consultado el 20 de abril de 2023]

- Saavedra, J., Córdova, A., Navarro, R., Díaz-Calderón, P., Fuentealba, C., Astudillo-Castro, C., Toledo, L., Enrione, J. y Galvez, L.** 2017. Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. *Journal of Food Engineering*, 198: 81-90.
- Sagwe, R.N., Peters, M.K., Dubois, T., Steffan-Dewenter, I. y Lattorff, H.M.G.** 2021. Pollinator supplementation mitigates pollination deficits in smallholder avocado (*Persea americana* Mill.) production systems in Kenya. *Basic and Applied Ecology*, 56: 392-400. <https://doi.org/10.1016/j.bae.2021.08.013>.
- Sagwe, R.N., Peters, M.K., Dubois, T., Steffan-Dewenter, I. y Lattorff, H.M.G.** 2022. Pollinator efficiency of avocado (*Persea americana*) flower insect visitors. *Ecological Solutions and Evidence*, 3(4). <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12178>.
- Salazar-López, N.J., Domínguez-Avila, J.A., Yahia, E.M., Belmonte-Herrera, B.H., Wall-Medrano, A., Montalvo-González, E. y González-Aguilar, G.A.** 2020. Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 138: 109774. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109774>.
- Sarminah, S., Karyati, Hartono T. y Afandi, F.** 2021. Implementation of land rehabilitation to reduce soil erosion and surface runoff by sengon (*Falcataria moluccana*) and jabon (*Antocephalus cadamba*) plantation. <https://doi.org/10.2991/absr.k.220102.037>
- Sarminah, S., Sinaga, D.S.P., Crisdayanti, R. y Syafrudin, M.** 2021. Effect of organic mulch on runoff and erosion rates in abandoned land. proceedings of the joint symposium on tropical studies (JSTS-19), pp. 308-314. Atlantis Press.
- Sauca, E. y Urabayen, D.** 2005. Rotaciones y asociaciones de cultivos. Monográficos Ekonekazaritza, (7).
- Saucedo & Martínez, N. y Chávez Larios, J. A.** 2020. Sistema contra heladas, un recurso para aumentar la productividad en cultivos con entornos cerrados en el Occidente de México.
- Schaffer, B., Wolstenholme, B.N. y Whiley, A.W** 2013. *The Avocado Botany, production and uses* 2nd edition. <https://doi.org/10.1079/9781845937010.0000>
- Scheelbeek, P.F.D., Moss, C., Kastner, T. et al.** 2020. United Kingdom's fruit and vegetable supply is increasingly dependent on imports from climate-vulnerable producing countries. *Nat Food* 1, 705–712 p. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00179-4>.
- Schick, A., Wieners, E., Schwab, N. y Schickhoff, U.** 2018. Sustainable disaster risk reduction in mountain agriculture: Agroforestry experiences in Kaule, mid-hills of Nepal. *Climate Change, Extreme Events and Disaster Risk Reduction: Towards Sustainable Development Goals*: 249-264.
- Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) n.d. Manual básico de apícola. Programa Nacional para el control de la abeja africana. En: Coordinación General de Ganadería. SAGARPA. México.** <https://osiap.org.mx/senasica/sites/default/files/manual%20basico%20apicultura%20sagarpa.pdf>.

Referencias

- Serge Remy, L.J.C., Jerneja Jakopi , Jean-François Larrieu, A. y Soršak, A. et. al.** 2019. Protecting fruit production from frost damage minipaper 01: Frost protection by above crown sprinkling.
- Seed Change.** 2018. Agroforestry: diversifying farms for increased resilience in Central America (Agroforestería: diversificando las explotaciones agrícolas para aumentar la resiliencia en Centroamérica). Seed Change, Canadá. https://weseedchange.org/wp-content/uploads/2019/09/SeedChange_program-highlight_agroforestry-Central-America.pdf
- Seydou, T.H., Agali, A., Aissatou, S., Seydou, T.B., Issaka, L. y Ibrahim, B.M.** 2023. Evaluation of the impact of seasonal agroclimatic information used for early warning and farmer communities' vulnerability reduction in Southwestern Niger. *Climate*, 11(31). <https://doi.org/10.3390/cli11020031>.
- Silva, I.R.A., Magnani, M., de Albuquerque, F.S.M., Batista, K.S., Aquino, J.d.S. y Queiroga-Neto, V.** 2017. Characterization of the chemical and structural properties of native and acetylated starches from avocado (*Persea americana* Mill.) seeds. *International Journal of Food Properties*, 20(sup1): S279-S289. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295259>.
- Singh, R.** 2023. Wind Erosion. En: R. Singh, ed. *Soil and Water Conservation Structures Design*, pp. 297-322. Singapur, Springer Nature Singapore.
- Sloand, E., Killion, C., Gary, F., Dennis, B., Glass, N., Hassan, M., Campbell, D. y Callwood, G.** 2015. Barriers and facilitators to engaging communities in gender-based violence prevention following a natural disaster. *J Health Care Poor Underserved*, 26(4). <https://doi.org/10.1353/hpu.2015.0133>.
- Soler A., N.T., Masson J., Hoarau I., Tisserand G., Thuriès L., Rostislavleva, K., Zhang, L. et al.,** 2020. Livret technique ANANABIO: Innovations techniques pour la culture de l'ananas en agriculture biologique à la Réunion. [Consultado el 15 de junio de 2023]. https://www.researchgate.net/publication/349502240_Livret_technique_ANANABIO_Innovations_techniques_pour_la_culture_de_l'ananas_en_agriculture_biologique_a_la_Reunion
- Steyn, T.C.** 2020. Comparing hail risk management strategies through whole-farm multi-period stochastic budgeting for avocado production in South Africa. PhD Thesis. Stellenbosch: Stellenbosch University.
- Sthapit S. y Scherr, S.** 2012. Tropical fruit trees and climate change, tropical fruit tree species and climate change. New Delhi, India, Bioversity International. ISBN: 978-92-9043909-7
- Tamayo-Ramos, D.I., Salazar-González, J.A., Casson, S.A. y Urrea-López, R.** 2022. Old and new horizons on *Persea americana* transformation techniques and applications. *Plant Cell, Tissue & Organ Culture*, 150(2): 253-266. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02268-7>.

Tapia-Vargas, M., Pedraza Santos, M.E., Larios-Guzmán, A., Vidales-Fernández, I., Guillén-Andrade, H. y Barradas-Vázquez, V.L. 2012. Variabilidad espacial de la lluvia por efecto de un sistema antigranizo en la franja aguacatera de Michoacán. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(5): 91-96.

Teem, J.L., Alphey, L., Descamps, S., Edgington, M.P., Edwards, O., Gemmell, N., Harvey-Samuel, T. et al. 2020. Genetic biocontrol for invasive species. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00452>

Thorp, G. 2011. Avocado alternate bearing research. *Horticulture Australia*. <https://www.horticulture.com.au/globalassets/hort-innovation/historic-reports/avocado-alternate-bearing-research-av10010.pdf>

Tinyane, P., Soundy, P. y Sivakumar, D. 2018. Growing 'Hass' avocado fruit under different coloured shade netting improves the marketable yield and affects fruit ripening. *Scientia Horticulturae*, 230: 43-49. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.020>

Universidad de California. 2023. Avocado Handbook. https://ceventura.ucanr.edu/Com_Ag/Subtropical/Avocado_Handbook/Frost_Control_Freeze_Damage/Protecting_Avocados_from_Frost/

Uno, Y., Okubo, H., Itoh, H. y Koyama, R. 2016. Reduction of leaf lettuce tip burn using an indicator cultivar. *Scientia Horticulturae*, 210: 14-18. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.001>

Vásquez, R., Ballesteros, H., Castañeda, S., Riveros, L., Ortega, C. y Calvo, N. 2011. Polinización dirigida con abejas *Apis mellifera*: Tecnología para el mejoramiento de la producción de cultivos con potencial exportador. Bogotá: Corpoica.

Wangithi, C., Muriithi, B.W., Diiro, G., Dubois, T., Mohamed, S., Lattorff, M., Ngowi, B.V., Abdel-Rahman, E., Adan, M. y Kassie, M. 2022. Synergies of integrated pest and pollinator management in avocado farming in East Africa: An ex-ante economic analysis. *PLoS ONE*, 17(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271241>.

Zhang, D. y Guo, P. 2016. Integrated agriculture water management optimization model for water saving potential analysis. *Agricultural Water Management*, 170: 5-19. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.11.004>

Cuadro 6.

Caldana, N.F.d.S., Nitsche, P., Martelócio, A., Rudke, A., Zaro, G., Batista Ferreira, L., Contador Zaccheo, P., Colucci de Carvalho, S. y Martins, J. 2019. Agroclimatic risk zoning of avocado (*Persea americana*) in the hydrographic basin of Paraná River III, Brazil (Zonificación del riesgo agroclimático del aguacate [*Persea americana*] en la cuenca hidrográfica del río Paraná III, Brasil). *Agriculture*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/agriculture9120263>.

Howden, M., Newett, S. y Deuter, P. 2005. Climate change-risks and opportunities for the avocado industry (Riesgos y oportunidades del cambio climático para la industria del aguacate). *Actas de la Conferencia de Productores de Aguacate de Nueva Zelanda y Australia*. Holland, P. (Eds.) Tauranga, Nueva Zelanda, pp. 1–28. www.avocadosource.com/Journals/AUSNZ/AUSNZ_2005/HowdenMark2005.pdf

Rocha-Arroyo, J.L., Salazar-García, S., Bárcenas-Ortega, A., González-Durán, I. y Cossio-Vargas, L. 2011. Fenología del aguacate ‘Hass’ en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3): 303–316.

Cuadro 10.

Alves Silva, I., Magnani, M., Medeiros de Albuquerque, F., Sabino Batista, K, Souza Aquino, J. y Queiroga-Neto, V. 2017. Characterization of the chemical and structural properties of native and acetylated starches from avocado (*Persea americana Mill.*) seeds (Caracterización de las propiedades químicas y estructurales de almidones nativos y acetilados de semillas de aguacate [*Persea americana Mill.*]). *International Journal of Food Properties*. 20. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295259>

Saavedra, J., Córdova, A., Navarro, R., Díaz-Calderón, P., Fuentealba, C., Astudillo-Castro, C., Toledo, L., Enrione, J. y Galvez, L. 2017. Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process (Residuos industriales de aguacate: Conservación de compuestos funcionales mediante proceso de secado convectivo). *Journal of Food Engineering*, 198: 81–90.

Tesfaye, T., Ayele, M., Gibril, M., Ferede, E., Limeneh, D. Y. y Kong, F. 2022. Beneficiation of avocado processing industry by-product: A review on future prospect (*Beneficio del subproducto de la industria procesadora de aguacate: una revisión de las perspectivas futuras*). *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 100253.

Glenn, G. M., Orts, W., Imam, S., Chiou, B. S. y Wood, D. F. 2014. Starch plastic packaging and agriculture applications (Envases de plástico de almidón y aplicaciones agrícolas). In *Starch Polymers*. 421–452.

Marulanda, A., Ruiz-Ruiz, M. y Cortes-Rodríguez, M. 2018. Influence of spray drying process on the quality of avocado powder: a functional food with great industrial potential (Influencia del proceso de secado por aspersión en la calidad del aguacate en polvo: un alimento funcional con gran potencial industrial). *Vitae*, 25(1): 37–48

CONTÁCTENOS

Proyecto Frutas Responsables

Responsible-Fruits@fao.org

<https://bit.ly/responsible-fruits>

División de Mercados y Comercio - línea de trabajo sobre
Desarrollo económico y social

www.fao.org/markets-and-trade

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Roma, Italia

Con el apoyo de:



Ministerio Federal
de Alimentación
y Agricultura