



**PRODUCCIÓN
de FRUTALES
en CAMBIO
CLIMÁTICO**

Experiencias en América Latina

**Pablo Alberto Torres Lima
Juan Guillermo Cruz Castillo
Luis Ángel Barrera Guzmán
María Elena Galindo Tovar
Humberto Mata Alejandro
Héctor Tecumshé Mojica Zárate
Joaquín Murguía González
(coordinadores)**


**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

Producción de frutales en cambio climático.
Experiencias en América Latina



Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico de calidad en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, autenticación antiplagio, comités y ética editorial, acceso abierto, métricas, campaña de promoción, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos y autenticación antiplagio. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado, así como la consulta del libro en Acceso Abierto.



www.comunicacion-cientifica.com

[DOI.ORG/10.52501/cc.296](https://doi.org/10.52501/cc.296)



Producción de frutales en cambio climático.
Experiencias en América Latina

Pablo Alberto Torres Lima
Juan Guillermo Cruz Castillo
Luis Ángel Barrera Guzmán
María Elena Galindo Tovar
Humberto Mata Alejandro
Héctor Tecumshé Mojica Zárate
Joaquín Murguía González
(coordinadores)



Producción de frutales en cambio climático/ coordinadores Pablo Alberto Torres Lima, Juan Guillermo Cruz Castillo, Luis Ángel Barrera Guzmán, María Elena Galindo Tovar, Humberto Mata Alejandro, Héctor Tecumshé Mojica Zárate y Joaquín Murguía González. — Ciudad de México : Comunicación Científica, 2025. (Colección Ciencia e Investigación).

342 páginas : ilustraciones, gráficas ; 23 × 16.5 centímetros

DOI: 10.52501/cc.296

ISBN: 978-968-9738-22-0

1. Árboles frutales — Cultivo. 2. Cultivos tropicales. I. Torres Lima, Pablo Alberto, coordinador. II. Cruz Castillo, Juan Guillermo, coordinador. III. Barrera Guzmán, Luis Ángel, coordinador. IV. Galindo Tovar, María Elena, coordinadora. V. Mata Alejandro, Humberto, coordinador. VI. Mojica Zárate, Héctor Tecumshé, coordinador. VII. Murguía González, Joaquín, coordinador. — México. 3. Acción y defensa (Derecho) — México.

LC: SB111 P76

DEWEY: 631.0913 B76

La titularidad de los derechos patrimoniales y morales de esta obra pertenece a los coordinadores D.R. © Pablo Alberto Torres Lima, Juan Guillermo Cruz Castillo, Luis Ángel Barrera Guzmán, María Elena Galindo Tovar, Humberto Mata Alejandro, Héctor Tecumshé Mojica Zárate y Joaquín Murguía González, 2025. Reservados todos los derechos conforme a la Ley. Su uso se rige por una licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 Internacional, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2025

Cuidado de la edición: Nancy Rebeca Márquez Arzate

Diseño de portada: Francisco Zeledón • Interiores: Guillermo Huerta

Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., 2025,

Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,

Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México,

Tel.: (52) 55-5696-6541 • Móvil: (52) 55-4516-2170

info@comunicacion-cientifica.com • www.comunicacion-cientifica.com

 comunicacioncientificapublicaciones  @ComunidadCient2

ISBN 978-968-9738-22-0

DOI 10.52501/cc.296



Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos.
El proceso transparentado puede consultarse, así como el libro en acceso abierto,
en <https://doi.org/10.52501/cc.296>

Índice

1. Introducción	
<i>Pablo Alberto Torres Lima y Juan Guillermo Cruz Castillo</i>	15
Referencias	23
2. Ámbitos de investigación en producción de frutales ante el cambio climático	
<i>Pablo Alberto Torres Lima, Juan Guillermo Cruz-Castillo, Luis Ángel Barrera Guzmán, María Elena Galindo Tovar, Humberto Mata Alejandro, Joaquín Murguía González y Héctor Tecumshé Mojica Zárate</i>	25
Introducción	26
Procesos agroambientales regionales frente al cambio climático	30
Adaptación y mitigación ante el cambio climático	33
La agricultura y la adaptación basada en los servicios ecosistémicos	36
La adaptación basada en la comunidad	40
Conclusiones	42
Referencias	44
3. Implicaciones de cambios en el clima para la producción frutícola	
<i>Helber Enrique Balaguera López, Stanislav Magnitskiy, Joaquín Guillermo Ramírez Gil y Gerhard Fischer</i>	49

Introducción	50
Temperatura	52
Radiación solar	55
CO ₂	57
Cambios en la precipitación	59
Anegamiento e inundación	61
Conclusiones	63
Referencias	64
4. Variabilidad climática en la fruticultura tropical: consideraciones para Colombia	
<i>Laura Alejandra Valbuena Gaona, María Isabel Munera López, Gerhard Fischer, Stanislav Magnitskiy, Helber Enrique Balaguera López y Joaquín Guillermo Ramírez Gil</i>	71
Introducción	72
Área sembrada, producción y rendimiento de las principales frutas con potencial de exportación en Colombia	76
Dinámica temporal de los fenómenos ENSO (La Niña y el Niño) en Colombia	80
Potencial efecto de los fenómenos ENSO (La Niña y El Niño) sobre la fruticultura en Colombia	83
Mitigación y adaptación hacia los efectos negativos de los fenómenos ENSO (La Niña y el Niño) en la fruticultura en Colombia	85
ENSO-El Niño (sequía)	85
ENSO-La Niña (incrementos en precipitación)	88
Referencias	91
5. Producción de frutales y variabilidad climática en México	
<i>Jorge Andrés Agustín.</i>	95
Introducción.	96
Los sistemas de producción de frutales en México	97
Sistemas frutícolas tradicionales.	98
Sistemas convencionales o sistemas modernos de producción frutícolas.	102

Huertos a cielo abierto o suelo	103
Agricultura protegida	105
Producción recirculante (hidroponía)	107
Sistemas de producción frutícola agroecológicos	107
Fruticultura orgánica.	109
Hacia la sustentabilidad de la producción frutícola	111
Conclusiones	117
Referencias.	118
6. Fruticultura agroecológica innovada por agricultores en Cuba	
<i>Luis Ladislao Vázquez</i>	121
Introducción.	122
Transición agroecológica de la fruticultura en Cuba	123
Diseños agroecológicos de sistemas frutícolas múltiples generados por la innovación de agricultores.	125
Multifunciones ecológicas de sistemas frutícolas múltiples . . .	129
Frutales en policultivos agrícolas	131
Polifrutales	134
Referencias.	138
7. Influencia de la variabilidad climática y el incremento de plagas y enfermedades en frutales	
<i>Humberto Mata Alejandro, María del Refugio Castañeda Chávez y Luis Alfonso Aguilar-Pérez</i>	141
Introducción.	142
Plagas de importancia económica que impactan en la fruticultura tropical por la variabilidad climática (algunos casos).	147
<i>Batrocera dorsalis</i> y <i>Ceratitis capitata</i>	147
<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>	147
<i>Diaphorina citri</i>	148
Enfermedades que impactan en la fruticultura tropical por la variabilidad climática (algunos casos)	149
<i>Fusarium oxysporum</i>	149
<i>Phytophthora spp</i> y otros oomicetos	150
Roya del cafeto <i>Hemileia vastarix</i>	150

Consideraciones finales	151
Referencias.	153
8. Dinámica espacial entre <i>Coffea arabica</i> Linneo y <i>Coffea canephora</i> Pierre ex A. Froehner bajo el cambio climático <i>Ismael Quiroz Guerrero y Juan Guillermo Cruz Castillo</i>	159
Introducción.	160
Metodología	163
Análisis estadístico	164
Resultados y discusiones	164
Distribución actual y potencial futuro de <i>Coffea arabica</i>	164
Distribución actual y potencial futura de <i>Coffea canephora</i>	167
Conclusiones	170
Referencias.	170
9. Hongos micorrízicos arbusculares y salud del suelo bajo el sistema milpa intercalada con árboles frutales en la mitigación del cambio climático <i>Tania Romero Figueiras, Pablo Andrés Meza, Joaquín Murguía González, Alejandro Espinosa Calderón, Otto Leyva Ovalle, Ricardo Serna Lagunes, Julio Díaz José, Miguel Cebada Merino, María Galindo Tovar, Mauro Sierra Macías, Margarita Tadeo Robledo y José Luis del Rosario-Arellano</i>	173
Introducción.	174
Materiales y métodos	177
Área de estudio	177
Diseño y establecimiento de la parcela MIAF.	178
Fuente de inóculo y diseño de tratamientos	179
Características físicoquímicas y biológicas del suelo	180
Manejo del experimento	180
Siembra en macetas e inoculación con HMA, <i>Rhizophagus irregularis</i> y <i>Rhizobium etli</i>	181
Variables evaluadas.	181
Análisis estadístico	182
Resultados y discusión	182

Análisis fisicoquímico del suelo	182
Análisis microbiológico del suelo	184
Parámetros climáticos	185
Limón persa	186
Lichi	187
Durazno	188
Plántulas inoculadas de maíz	190
Plántulas inoculadas de frijol	192
Conclusiones	194
Referencias.	195
10. Diagnóstico de los efectos de la variabilidad climática en la naranja en el norte de Veracruz <i>Gustavo Almaguer Vargas, Juan Guillermo Cruz Castillo y Pablo Alberto Torres Lima</i>	199
Introducción.	200
Variabilidad climática y sequía en el norte de Veracruz.	201
Relación de la variabilidad climática con la incidencia de plagas y enfermedades	202
Metodología	204
Resultados	204
Características de los citricultores	204
Perfil productivo	206
Consideración final.	207
Referencias.	207
11. El complejo vitivinícola de la Pampa, Argentina: actores, desafíos y escenarios prospectivos a 2030 <i>Roberto Carlos Mariano, Rocío Luján González, Santiago Agustín Pérez y Santiago Ferro Moreno</i>	209
Introducción.	210
Marco conceptual.	213
Metodología	214
Resultados	215
Descripción del complejo vitivinícola provincial	215

Desafíos, oportunidades y variables clave de futuro	221
Relaciones entre las variables clave con los ODS a 2030	225
Escenarios del complejo vitivinícola provincial orientados hacia la incidencia de las variables claves en los ODS 2030	228
Reflexiones finales	234
Referencias.	235
12. Un futuro socioecológico para el aguacate mexicano	
<i>Gisela Valdés Padilla, Mayra Karina Solís López y María de Lourdes Flores López.</i>	239
Introducción.	240
Producción del aguacate en Iberoamérica	241
Manejo técnico del aguacate en los principales países productores de Iberoamérica	242
Sistemas de producción de aguacate mexicano	243
La prospectiva y la generación de escenarios	246
Escenario ideal del aguacate mexicano. Narrativa futura contada en presente	248
Discusión	252
Referencias.	255
13. Prospectiva socioeconómica y ambiental de plantaciones y agroindustrias de cítricos en México	
<i>Luis Alberto Olvera Vargas y Noé Aguilar Rivera</i>	261
Introducción.	262
Perspectiva ambiental	266
Manejo de residuos como alternativa sustentable	269
Conclusiones	274
Referencias.	275
14. Áreas con potencial productivo ante el cambio climático. El caso del aguacate en Puebla, México	
<i>Eduardo Pérez Sosa, Guadalupe Rebeca Granados Ramírez, Miguel Ángel Saz Sánchez y María Luz Hernández Navarro</i>	279
Introducción.	280

Panorama agrícola del aguacate en Puebla	282
Metodología para la zonificación de cultivos mediante evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica	287
Obtención y manejo de la información	288
Etapas de análisis	288
Distribución espacial de las áreas óptimas para el establecimiento de plantaciones. Replanteamientos y nuevas oportunidades.	295
Perspectivas a futuro. Cambios en los patrones de distribución de las áreas con potencial productivo	298
Discusión	302
Conclusiones	304
Referencias.	305
 Sobre los autores.	 311

1. Introducción

PABLO ALBERTO TORRES LIMA*
JUAN GUILLERMO CRUZ CASTILLO**



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.01>

Resumen

Los sistemas agrícolas y alimentarios están intrínsecamente relacionados con el medio ambiente, los recursos naturales y los retos de sustentabilidad. Como parte de las evaluaciones de los riesgos del cambio climático a diferentes escalas, desde lo global hasta lo local, se estiman y proyectan diversos procesos de transformación y cambios en los indicadores de riesgo climático para determinados sectores de la economía (esto es, agricultura) o elementos del mundo natural. Para la agricultura, con especial énfasis en la fruticultura en América Latina, la adaptación al cambio climático puede referirse en términos de conductas y estrategias productivas, de manejo de recursos, tecnológicas, económicas y sociales de respuesta; mientras que la capacidad adaptativa se relaciona con las descripciones y evaluaciones de los sistemas dinámicos e institucionales que entran en juego ante los problemas que enfrentan los sistemas agroproductivos frente a diferentes tipos de cambio, sobre todo en términos de la producción y comercio de frutas (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2024). partir de la contribución de diversos especialistas de diferentes áreas de conocimiento asociadas al concepto integrador de fruticultura y cambio climático, el libro y sus capítulos incluye, por lo tanto, un enriquecedor

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

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

intercambio de experiencias analíticas, metodológicas y estudios de caso. Así, se propone un marco novedoso que aproveche los enfoques cuantitativos y cualitativos originales y de vanguardia para integrar y divulgar estudios, investigaciones y colaboraciones estructuradas en torno a las temáticas y problemáticas recientes de la fruticultura.

Palabras clave: *cambio climático, desarrollo sostenible, fruticultura.*

A lo largo de la historia de las civilizaciones, los procesos de adaptación a los cambios climáticos no son nuevos. Las poblaciones humanas, el amplio rango de especies biológicas y los sistemas naturales, entre otros, han estado adaptándose a condiciones cambiantes, que comprenden cambios de largo plazo en el medio ambiente y en los sistemas productivos basados en diversos recursos. Por ejemplo, en la agricultura y sistemas agroproductivos rurales, las poblaciones humanas históricamente han dado respuesta a la variabilidad del clima y a las diferentes presiones ambientales (esto es, déficit de agua) y condiciones económicas (esto es, escasez de alimentos). Sin embargo, en muchos de los casos, bajo diferentes escalas temporales y espaciales, las consecuencias de estas respuestas en los sistemas naturales y agroproductivos han implicado la degradación de cuencas hidrológicas, la pérdida de ecosistemas y su biodiversidad, así como la erosión hídrica superficial y la erosión eólica, entre otros.

Los sistemas agrícolas y alimentarios están intrínsecamente relacionados con el medio ambiente, los recursos naturales y los retos de sustentabilidad. De esta forma, a medida que aumenta la frecuencia e intensidad de los cambios inducidos por la variabilidad climática, crece la preocupación por abordar las cuestiones relacionadas con la transformación de los sistemas y procesos agroalimentarios desde la perspectiva del cambio climático. La mayoría de los problemas, retos y soluciones para la agricultura y los sistemas alimentarios asociados al cambio climático se relacionan con el diseño de estrategias y acciones, así como la movilización de recursos, a fin de proteger a las poblaciones vulnerables de la inseguridad alimentaria y el hambre; así mismo, se vinculan a los procesos de construcción y fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas agroalimentarios, la sustentabilidad

de los recursos naturales y la construcción a largo plazo de rutas de desarrollo para las sociedades regionales.

Como parte de las evaluaciones de los riesgos del cambio climático a diferentes escalas, desde lo global hasta lo local, que aparecen en un número cada vez mayor de publicaciones, se estiman y proyectan diversos procesos de transformación y cambios en los indicadores de riesgo climático para determinados sectores de la economía (esto es, agricultura) o elementos del mundo natural. Un gran número de estudios e investigaciones acerca del cambio climático está en consonancia con la necesidad creada por el Acuerdo de París (AP), cuyo objetivo es restringir el aumento de la temperatura global a un margen “muy por debajo de 2°C” y “proseguir los esfuerzos” para limitar este calentamiento a 1.5°C por encima de los niveles preindustriales (United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], 2015; en Jacob y Guillén, 2024). En este sentido, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha destacado la necesidad de desarrollar mayor investigación alineada con el AP y los riesgos relacionados en su informe especial *Calentamiento global de 1.5°C* (IPCC, 2018).

A fin de aplicar sus propios métodos de reducción de escala de los escenarios de los cambios en el clima, diferentes temáticas o problemáticas en cuestión pueden o no ser encapsuladas dentro del conjunto de implicaciones o incertidumbres del cambio climático. De esta forma, cada estudio o investigación suelen utilizar sus propios paradigmas conceptuales, metodológicos y empíricos para explicar los escenarios socioeconómicos, agroambientales, entre otros, ante el cambio climático. En la mayoría de los casos, se empieza por describir y modelar los retos futuros del desarrollo sostenible antes los riesgos proyectados.

Entre los organismos vivos, las especies de plantas perennes son las más expuestas a los efectos del cambio climático, como el aumento de la temperatura media anual, los fenómenos meteorológicos extremos o las sequías. Los cultivos frutícolas pueden experimentar distintos fenómenos extremos en el mismo año, como inundaciones en algunos periodos y sequía en los meses de verano, temperaturas extremadamente bajas en invierno y excesivamente altas en verano, etcétera. En particular, se estima que el cambio climático afecta a una serie de funciones fisiológicas de las especies de ár-

boles frutales y de frutos secos de zonas templadas, como su fenología, la liberación del letargo de las yemas y la vernalización, la polinización y el cuajado de los frutos, el crecimiento y la calidad de los frutos, así como la brotación de las yemas y el inicio del crecimiento (Roussos, 2024). Los cambios que influyen directamente en la madurez y el desarrollo de los cultivos frutales pasan por el estrés térmico que durante las fases de floración y cuajado puede tener efectos perjudiciales sobre la producción de fruta (Karagatiya et al., 2023), mientras que la fluctuación en las temperatura y la irregularidad del régimen de lluvias puede perturbar la polinización y aumentar el riesgo de plagas y enfermedades (Miller et al., 2024); mientras que los niveles elevados de dióxido de carbono también pueden afectar a las características cualitativas de la fruta (Ameen, 2023).

Para la agricultura, con especial énfasis en la fruticultura en América Latina, la adaptación al cambio climático puede referirse en términos de conductas y estrategias productivas, de manejo de recursos, tecnológicas, económicas y sociales de respuesta; mientras que la capacidad adaptativa se relaciona con las descripciones y evaluaciones de los sistemas dinámicos e institucionales que entran en juego ante los problemas que enfrentan los sistemas agroproductivos frente a diferentes tipos de cambio, sobre todo en términos de la producción y comercio de frutas (Food and Agriculture Organization of the United Nations[FAO], 2024). En cualquiera de los casos, lo que hace innovador la definición de adaptación y el diseño de estrategias, por un lado, consiste en la idea de incorporar el riesgo futuro y los escenarios del cambio climático en los procesos productivos agrícolas y, por el otro, que mediante una agenda de investigación científica, tecnológica y social será posible atender de manera integral las interacciones entre clima, vulnerabilidad, resiliencia, capacidades y sistemas institucionales en la agricultura. En este sentido, en virtud de que los impactos del cambio climático reducen las posibilidades de desarrollo e incrementan a la vez los riesgos para los sectores productivos más vulnerables (esto es, la agricultura), así como los grupos sociales (productores agrícolas y mujeres), se ha considerado a la adaptación y a la promoción de resiliencia de sistemas de cultivos frutícolas como una prioridad creciente por la comunidad internacional, las agencias de desarrollo, los gobiernos, los centros de investigación, las universidades y por las propias comunidades rurales vulnerables; sobre todo,

mediante la generación y aplicación de diversas estrategias como la adopción de prácticas de manejo agronómicas mejoradas, la implantación de sistemas de riego eficientes, la utilización de técnicas de agricultura de precisión y la selección y cultivo de variedades resistentes al clima (Karagatiya et al., 2023).

Para la identificación de temáticas relevantes, la relación de los términos *fruticultura* y *cambio climático* se encuentran, de manera relativamente importante, en diversos motores de búsqueda y base de datos. Se observa que, a pesar de la creciente producción de literatura relacionada al cambio climático, aún falta mayor direccionalidad en los estudios realizados por autores en países del sur global (Chandio et al., 2024; Deori et al., 2024; Karagatiya et al., 2023; Manzoor et al., 2024; Yadav et al., 2023). Se estima que muchas de las principales contribuciones y contribuyentes a la generación de investigación académica sobre el tema de *fruticultura* y *cambio climático* pueden recaer en Latinoamérica (Osorio-Marín et al., 2024); sobre todo porque muchas de las tendencias recientes de investigación, y estudios en agronomía, ocurren en esta área geográfica; las cuales son dinámicas y exploran diversas áreas de conocimiento y programas de formación de recursos humanos en torno a la fruticultura. Sin embargo, aún existen diversos retos prioritarios para los países de Latinoamérica con respecto a la producción y contribución de conocimiento que generen avances en el desarrollo y la aplicación de nuevos sistemas de manejo de cultivos para reducir los efectos del cambio climático.

A partir de las temáticas diversas sobre el objeto de estudio de la relación entre fruticultura y cambio climático, tales como mejoramiento genético de frutales, el uso de nuevos insumos para la producción y manejo postcosecha, la reconversión de cultivos, y las estrategias de agricultura climáticamente inteligente, para este libro y los capítulos que lo integran existen algunos temas críticos a tratar. Se estimó pertinente la presentación de marcos conceptuales y metodológicos, así como de estudios de caso y prospectiva asociados a la fruticultura que exploran perspectivas y soluciones con algunos ejemplos agroecológicos como parte del futuro posible de los sistemas de producción frutícola en América Latina. Lo anterior, consistió como marco de intersección o hilo conductor (conceptual, metodológico y analítico) que guió la conexión entre los capítulos que integran este libro. A partir de la contribución de diversos especialistas de diferentes áreas de conocimiento

asociadas al concepto integrador de fruticultura y cambio climático, el libro y sus capítulos incluye, por lo tanto, un enriquecedor intercambio de experiencias analíticas, metodológicas y estudios de caso. Así, se propone un marco novedoso que aproveche los enfoques cuantitativos y cualitativos originales y de vanguardia para integrar y divulgar estudios, investigaciones y colaboraciones estructuradas en torno a las temáticas y problemáticas recientes de la fruticultura. Sirva pues este libro como reflejo de esta intencionalidad y propósito, como una plataforma común de aprendizaje y colaboración para recuperar algunas experiencias de investigadores en el diseño de herramientas conceptuales de entendimiento y guías metodológicas y prácticas que satisfagan las necesidades de conocimiento e iniciativas sobre el tema de *fruticultura y cambio climático* con algunos ejemplos para América Latina.

A lo largo del libro, y a fin de situar el contexto, en el capítulo 2, Torres y Cruz exponen, a manera de ensayo, diversos ámbitos de investigación en producción de frutales ante el cambio climático, sobre todo los relacionados a procesos agroambientales regionales de adaptación y mitigación frente al cambio climático. Así mismo, presentan consideraciones de la adaptación al cambio climático basada en los servicios ecosistémicos y en la comunidad.

El capítulo 3 tiene como propósito evidenciar los principales factores e implicaciones apreciados del cambio climático en la producción frutícola, tanto en la temperatura, radiación solar, CO₂, precipitación, anegamiento e inundación. Valbuena Gaona, María Munera López, Gerhard Fischer, Stanislav Magnitskiy, Enrique Balaguera López y Guillermo Ramírez Gil abordan en el capítulo 4 el problema de la variabilidad climática en la fruticultura tropical para el caso de Colombia. En particular, a partir de la identificación del área sembrada, la producción y el rendimiento de las principales frutas con potencial de exportación en Colombia, se analiza el potencial efecto de los fenómenos ENSO (La Niña y El Niño) sobre la fruticultura y sus estrategias de mitigación y adaptación.

El capítulo 5 nos remite a la importancia de la producción de frutales y el cambio climático en México. Particularmente, se abordan tanto los sistemas frutícolas tradicionales como los convencionales, o sistemas modernos; ello con la intención de ofrecer consideraciones hacia la sustentabilidad de la producción frutícola. En el capítulo 6, Luis Vázquez Moreno aborda la

fruticultura agroecológica, innovada por agricultores en Cuba, desde la perspectiva de la transición agroecológica y los diseños agroecológicos de sistemas frutícolas múltiples generados por la innovación de agricultores; cierra con consideraciones respecto a las multifunciones ecológicas de sistemas frutícolas múltiples. El capítulo 7 presenta consideraciones basadas en algunos casos de relevancia respecto a la influencia de la variabilidad climática y el incremento de plagas y enfermedades en la fruticultura tropical. Mientras que el capítulo 8 reporta una investigación experimental acerca de la dinámica espacial entre *Coffea arabica* y *Coffea canephora* bajo el cambio climático.

En el capítulo 9 se presenta otra investigación experimental sobre la relación entre los hongos micorrízicos arbusculares y la salud del suelo bajo el sistema milpa intercalada con árboles frutales en la mitigación del cambio climático. Por su parte, el capítulo 10 nos comparte una investigación diagnóstica-descriptiva acerca de los efectos del cambio climático en la naranja en el norte del estado de Veracruz, México, con énfasis en la relación entre el cambio climático y la incidencia de plagas y enfermedades. El capítulo 11 aborda, mediante el reporte de una investigación descriptiva-cualitativa de campo, el análisis prospectivo estratégico del complejo vitivinícola de la provincia de La Pampa, Argentina, particularmente, los actores, desafíos y los escenarios prospectivos conforme a los objetivos de desarrollo sustentable 2030. En el capítulo 12, Gisela Valdés Padilla, Karina Solís López y María de Lourdes Flores López presentan consideraciones respecto a un futuro ecológico y socialmente responsable para el aguacate mexicano; a partir de una revisión de la producción del aguacate en Iberoamérica y su manejo técnico en los principales países productores, se incluyen notas de prospectiva y la generación de escenarios, entre ellos el escenario ideal del aguacate mexicano. En el capítulo 13, Alberto Olvera Vargas y Noé Aguilar Rivera plantean una prospectiva socioeconómica y ambiental de plantaciones y agroindustrias de cítricos en México, sobre todo, al destacar el manejo de residuos como alternativa sustentable. Finalmente, el capítulo 14 presenta las áreas con potencial productivo ante el cambio climático para el caso del aguacate en Puebla, México; particularmente, mediante la aplicación de la metodología para la zonificación de cultivos, usando la evaluación multicriterio y sistemas de información geo-

gráfica, se incluye la distribución espacial de las áreas óptimas para el establecimiento de plantaciones.

Los capítulos proporcionan en conjunto una evaluación armonizada de los cambios previstos en la exposición de sistemas agroalimentarios a los peligros relacionados con el cambio climático, así como las implicaciones en los sistemas de producción frutícolas de los riesgos climáticos. Las anotaciones, resultados, análisis y argumentos presentados en este libro confirman la necesidad de aplicar medidas agroproductivas climáticas acordes con el riesgo generalizado y creciente de cambio climático. Sobre todo proporcionan una confirmación de la rápida escalada de los riesgos del cambio climático que aumentan con cada incremento adicional del calentamiento global. Aunque el libro reporta experiencias particulares con relación a las prácticas investigativas y lugares de estudio de los autores, se puede inferir con claridad que otras regiones de América Latina, o del mundo, experimenten problemas similares. Por tal motivo, es fundamental hacer mayor hincapié tanto en las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático a fin de evitar mayores riesgos tanto para los sistemas de producción frutícola como para los sistemas agroalimentarios.

En este contexto, esta obra forma parte de una ruta de trabajo que, con el fin de enmarcar contribuciones contemporáneas multidisciplinarias respecto a la fruticultura, se ha plasmado en libros que anteriormente hemos coordinado con autores latinoamericanos y que han sido publicados por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, y la Universidad Autónoma Chapingo, tales como: *Enfoques tecnológicos en la fruticultura* (2008); *Frutales para México. Contribuciones del Caribe y Sudamérica* (2002); y *El guanábano. Agronomía y usos de frutales tropicales* (2002). El presente libro incluye 43 autores investigadores provenientes de 13 instituciones, cuyos países de origen son Argentina, Colombia, Cuba, España y México, y a quienes agradecemos su interés temático por participar en esta obra colectiva. De igual manera, agradecemos el apoyo financiero de la Universidad Autónoma Metropolitana para la elaboración de la presente obra.

Referencias

- Ameen, M., Mahmood, A., Ahmad, M., Javaid, M., Nadeem, M., Asif, M., Balal, R., y Khan, B. (2023). Impacts of climate change on fruit physiology and quality. En M. Hasanzaman (Ed.), *Climate-Resilient Agriculture*, 1 (pp. 99-124). Springer. http://doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1_5
- Aamir, M., Xu, Y., Lv, Z., Xu, J., Shah, I., Sabir, I., Wang, Y., Sun, W., Liu, X., Wang, L., Liu, R., Jiu, S., y Zhang, C. (2024). Horticulture crop under pressure: Unraveling the impact of climate change on nutrition and fruit cracking. *Journal of Environmental Management*, 357. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120759>
- Chandio, A., Gokmenoglu, K., Joyo, M., y Yuansheng Jiang, Y. (2024). Modeling the climate change impacts on major fruits production: Recent evidence from Pakistan. *Scientia Horticulturae*, 324. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112618>
- Deori, M., Manasa, S., Kakade P., Saikanth, D., Ranganna, G., Deshmukh, R., Homeshvari, X., y Prasad, L. (2024). Impact of Climate Change on Fruit Yield and Quality in Modern Horticultural Practices. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36 (1), 177-187.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2024). *Estrategias de adaptación al cambio climático para la industria de las frutas tropicales: una guía técnica para productores y exportadores de aguacate*. FAO. <http://doi.org/10.4060/cc9309es>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2022). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. IPCC. Cambridge University Press.
- Jacob, D., y Guillén, T. (2024). Editorial Introduction to the Topical Collection: Accrual of Climate Change Risk in Six Vulnerable Countries. *Climatic Change*, 177(45). <http://doi.org/10.1007/s10584-024-03691-9>
- Karagatiya, F., Shivani, P., Parasana, J., Vasava, H., Chaudhari, T., Kanzaria, D., y Paramar, V. (2023). Adapting fruit crops to climate change: Strengthening resilience and implementing adaptation measures in fruit crops. *The Pharma Innovation Journal*, 12(7), 3159-3164.
- Miller, S., Testen, A., Jacobs, J., y Lewis, M. (2024). Mitigating emerging and reemerging diseases of fruit and vegetable crops in a changing climate. *Phytopathology*, 114(5), 917-929.
- Osorio-Marín, J., Fernandez, E., Vieli, L., Ribera, A., Luedeling, E., y Cobo, N. (2024). Climate change impacts on temperate fruit and nut production: a systematic review. *Frontiers in Plant Science*, 15. <http://doi:10.3389/fpls.2024.1352169>
- Roussos, P.A. (2024). Climate change challenges in temperate and sub-tropical fruit tree cultivation. *Encyclopedia*, 4(1), 558-582. <http://doi.org/10.3390/encyclopedia4010036>
- Shubham, S., Korat, J., Yadav, S., Mondal, K., Kumar, A., Homeshvari, X., y Kumar, S.

(2023). Impacts of Climate Change on Fruit Crops: A Comprehensive Review of Physiological, Phenological, and Pest-Related Responses. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 363-371.

United Nations Framework Convention on Climate Change (2015). *Paris Agreement*. UNFCCC. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english_.pdf

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



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

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

Resumen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Introducción

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Procesos agroambientales regionales frente al cambio climático

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Adaptación y mitigación ante el cambio climático

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La agricultura y la adaptación basada en los servicios ecosistémicos

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

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

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

Estos cambios, dependiendo del tipo de impacto por sitio específico y por sistema de producción frutícola, pueden afectar la respuesta fisiológica de las especies vegetales, lo que conduce a su rendimiento biológico y productivo en la sincronización para la adquisición de recursos en sus diferentes fases fenológicas y eventos reproductivos entre especies respecto de variaciones en los regímenes de precipitación, temperatura y en la concentración de CO₂. Bajo estas consideraciones, se estima que las adaptaciones de la agricultura al cambio climático pueden implicar medidas agronómicas (fecha de plantación temprana, reducción de la evaporación del suelo, ampliación del riego), mejora genética (cultivares con mayor necesidad de

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

En virtud de que el cambio climático tiene un efecto importante en los factores que rigen la absorción y acumulación de carbono en los ecosistemas y, por tanto, desempeña un papel fundamental en la capacidad de estos para secuestrar carbono en el futuro, queda claro que es necesario mantener grandes extensiones de tierra para uso agrícola, en las cuales existe un considerable potencial para mitigar las emisiones de carbono estimado en alrededor de 0.6 GtCO₂-eq al año para 2030 a escala mundial (Trumper et al., 2009). Las emisiones antropogénicas netas mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) se han estimado en 59 ± 6.6 GtCO₂-eq para el año 2019, aproximadamente un 12% (6.5 GtCO₂-eq) más que en el año 2010 y 54% (21 GtCO₂-eq) más que en 1990, siendo la mayor parte y crecimiento de las emisiones brutas de GEI correspondientes al CO₂, el cual procede de la combustión de combustibles fósiles y procesos industriales (CO₂-FFI, por sus siglas en inglés), seguido del metano (Instituto Panamericano de Profesionales Científicos [IPPC], 2023). Si en el sector agrícola se adoptaran ampliamente prácticas de gestión óptimas de carbono, se calcula que se podrían secuestrar por año de 5.5 a 6 GtCO₂-eq para 2030, cantidad comparable con las emisiones de ese sector. Alrededor de 90% de este potencial podría lograrse mediante la mejora de los sumideros de carbono y cerca de 10% a través de la reducción de emisiones. Aunque la mayor parte (70%) puede llevarse a cabo en los países en desarrollo, se debe considerar que la principal posibilidad de mitigación radica en la gestión de las tierras de cultivo y de pastoreo, y en la rehabilitación de suelos orgánicos cultivados y tierras degradadas (Trumper et al., 2009).

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

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

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

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

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

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

La adaptación basada en la comunidad

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Conclusiones

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

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

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

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

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

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

Referencias

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

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

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

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

3. Implicaciones de cambios en el clima para la producción frutícola



HELBER ENRIQUE BALAGUERA LÓPEZ*

STANISLAV MAGNITSKIY**

JOAQUÍN GUILLERMO RAMÍREZ GIL***

GERHARD FISCHER****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.03>

Resumen

Este capítulo tiene por objetivo mostrar una aproximación macro del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) y determinantes del cambio climático bajo condiciones tropicales; mostrar cómo se ven afectados en Colombia los sistemas de producción frutícola con mayor dinamismo por su potencial comercial, como es el caso de los frutales de exportación; y presentar elementos básicos asociados a estrategias de adaptación y mitigación a los efectos adversos de los fenómenos ENSO; esto, mediante el análisis histórico de área sembrada, producción y rendimiento de frutales con potencial de exportación en el país durante temporadas bajo la influencia del fenómenos ENSO, con el fin de visualizar los posibles efectos de estos eventos climáticos sobre los sistemas de producción, e identificar probables estrategias para mitigar y adaptar los cultivos a estas condiciones.

* Doctor en Fisiología Vegetal. Profesor, Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3133-0355>

** Postdoctorado en Horticultura. Profesor, Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3715-1932>

*** Doctor en Ciencias Agrarias. Profesor, Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0162-3598>

**** Doctor en Ciencias Agrarias. Profesor jubilado, Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8101-0507>

Palabras clave: *adaptación, fenómenos ENSO, temperatura, precipitación, mitigación.*

Introducción

Las actividades agrícolas están directamente afectadas por los impactos potenciales del cambio climático (CC) debido a su dependencia directa de las variables asociadas al clima (Yohannes, 2016). El CC se refiere al cambio en todas aquellas variables climáticas, como la precipitación y temperatura, cuantificadas mediante herramientas estadísticas que identifican modificaciones significativas en la media de estas variables en espacios de tiempo mayores a 30 años (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC, por sus siglas en inglés], 2014a). El CC en los trópicos se caracteriza por variaciones de los patrones de lluvia (incrementos y disminución), de la temperatura y precipitación (IPCC, 2014b). El aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos afectan la seguridad alimentaria de la humanidad (IPCC, 2019). Otros efectos del CC sobre los cultivos incluyen eventos extremos de temperaturas altas, sequías, irradiaciones solares altas, inundaciones, tormentas de lluvia, entre otras (Zegeye, 2018).

La concentración de CO₂ se identifica como uno de los factores que más altera el clima en el planeta Tierra y, por ende, mayor influencia presenta sobre el CC. Se proyecta que para finales de este siglo esta concentración aumente en el aire de hasta 600 o 700 ppm, lo que causaría un incremento de la temperatura promedio sobre la superficie de la tierra entre 4.5 y 5.0°C (Leung et al., 2014). Por su parte, según cálculos del IPCC (2013), la temperatura promedio de aire considerada también en el mismo tiempo aumentaría entre 2.6 y 4.8°C. La causa de este aumento en la temperatura es el efecto invernadero (EI) generado, sobre todo, por el incremento de la concentración de CO₂ (eCO₂) y otros gases en las actividades antropogénicas (Fischer et al., 2022a). El calentamiento global afecta directamente la estructura y función de los ecosistemas (Fischer et al., 2022a), incluyendo la fisiología, el crecimiento y desarrollo de los frutales (Ceulemans et al., 1999). Las condiciones ambientales pueden alterar las plantas durante todos sus

estados de crecimiento y desarrollo (Ali et al., 2021); aunque las plantas son capaces de activar cambios fisiológicos y moleculares específicos para responder a condiciones adversas ambientales y minimizar así el daño (Zandalinas et al., 2016), en el campo, las condiciones de estrés abiótico ocurren todas al mismo tiempo, lo que constituye una situación única de estrés y no una combinación de estrés aditivo (Mittler, 2006).

En especial, en el caso del efecto del CC sobre los frutales en el trópico, Ramírez y Kallarackal (2015) afirman que no se cuenta con mucha información disponible; es decir, se ha investigado y conocido poco sobre dónde y cómo los frutales pueden adaptarse al CC y de qué magnitud van a ser las potenciales afectaciones de este fenómeno sobre los cultivos (Porter et al., 2017). Yohannes (2016) predice que los efectos van a ser más severos en los países del trópico y subtropical, donde hay temperaturas iniciales más altas, también en suelos marginales o degradados y en regiones de bajo desarrollo con una menor capacidad de adaptación.

Se ha planteado de forma macro que uno de los mayores impactos del CC en la producción de frutales —caso aguacate— en el continente americano sería las variaciones de su distribución, dando lugar a que en las regiones tropicales esta especie se movería en el perfil altitudinal hacia las zonas altas, mientras que en las regiones subtropicales migraría hacia las latitudes bajas y altas, donde las temperaturas actuales son más bajas, pero que, en escenarios de CC, se espera incrementos (Ramírez et al., 2019a). Debido a esta nueva situación, se hace necesario realizar una aproximación de cómo serán los potenciales cambios en las variables de clima que en muchos casos se proyectan como adversas para los frutales, para tener así una comprensión completa de los múltiples efectos del CC en la fisiología de las plantas como base para lograr la apropiada adaptación de los cultivos y los mecanismos de adecuación (Swaminathan y Kesavan, 2012).

Enseguida se presentan de forma general las implicaciones de algunos de los factores ambientales asociados al CC sobre la fisiología y parámetros de producción de diferentes frutales.

Temperatura

Uno de los principales efectos del CC es el aumento en la temperatura que puede tener un impacto tanto positivo como negativo. Por una parte, estimula el crecimiento de las especies vegetales cultivables y no cultivables, lo que conlleva a una disminución de las fases fenológicas y reduce el tiempo de formación del fruto; esto es, el número de frutos y sus semillas podría ser reducido y así también la formación y viabilidad del polen (Larcher, 2003). Como consecuencia, se recorta la percepción de la luz por los ciclos de crecimiento atenuados y una alteración de los procesos relacionados con el balance de carbono de la planta (Barnabás et al., 2008). En muchos casos, las temperaturas altas implican el cierre estomático que adicionalmente reduce las tasas fotosintéticas debido a un menor influjo del CO₂ a las hojas (DaMatta et al., 2010). En estas condiciones, por el mayor aumento de la respiración de la planta comparado con la fotosíntesis, se disminuye la ganancia neta del carbono (DaMatta et al., 2010). Las temperaturas elevadas perjudican los frutales, sobre todo por el menor cuajado de los frutos que reduce la producción (Fischer et al., 2016). Estos autores reportan que en la vid las temperaturas superiores a 35°C restringen el cuajado, mientras que en el mango estos mismos niveles de temperatura disminuyen la viabilidad del polen y el cuajado de los frutos. Así mismo, el alto calor nocturno estimula la degradación de los fotoasimilados, limitando el llenado y la calidad organoléptica de los frutos (Das, 2012).

Por su parte, en cítricos, un incremento en la temperatura del aire induce al engrosamiento de mesófilo y epidermis de hojas, igual que un incremento en la densidad estomática (Shafqat et al., 2021). En el aguacate, los aumentos de temperatura sumados a los déficits hídricos y asociados a fenómenos de variabilidad climática en zonas tropicales acortan los ciclos de llenado del fruto, pero afecta los parámetros de calidad visual (tamaño) y organoléptica (ácidos grasos) (Ramírez-Gil et al., 2020).

En frutales como el mango, el litchi, la macadamia, el aguacate y los cítricos, la inducción floral depende principalmente de temperaturas “frescas” (Fischer et al., 2012), y es afectada por el calentamiento global (Rajan et al., 2020). Por ejemplo, la inducción floral en mango ocurre cuando las

inflorescencias se desarrollan bajo condiciones subtropicales frías inductivas (18°C día y 10°C noche o 15°C día y 10°C noche) (Fischer et al., 2012). La alta temperatura también genera problemas luego de la inducción floral; por ejemplo, en regiones con temperaturas medias superiores a 28°C, aceleran el crecimiento vegetativo en maracuyá, pero se reduce la producción por deshidratación del líquido estigmático (Fischer et al., 2009). Por su parte, en gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*), temperaturas superiores a 30 / 25°C día / noche afectan la producción de flores (Jiménez et al., 2012).

En la tabla 3.1 se citan algunos ejemplos de la respuesta en producción de algunos frutales cuando son sometidos a estrés por alta temperatura.

Tabla 3.1. Respuesta en producción de los frutales a temperaturas extremas en contexto de cambio climático

Especie	Estrés y duración	Respuesta en producción	Referencia bibliográfica
Maracuyá (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i>)	Temperatura del aire que supera 30°C.	Las plantas presentan exuberante crecimiento vegetativo, pero con muy poco cuajado de frutos.	Thokchom y Mandal (2017).
Olive (<i>Olea europaea L.</i>)	Los árboles que no reciben suficiente cantidad de horas frío al estar expuestas permanentemente a temperaturas superiores a 22°C.	Los árboles pueden florecer, pero las flores son de baja calidad y presentan deformaciones anatómicas. Un bajo porcentaje de cuajado de frutos.	Torres et al. (2017).
Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	Exposición prolongada de árboles a las temperaturas de 36°C (día) / 27°C (noche).	El polen presentó una disminución en el porcentaje de germinación. Efecto perjudicial general de estas temperaturas en el peso seco de las mazorcas, peso seco de granos por mazorca y peso seco de granos individuales.	Mateus Rodríguez (2022).

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la temperatura del suelo (ts), se le ha dado menos atención en los estudios de impacto climático; no obstante que este elemento también resulta afectado como consecuencia del calentamiento global (Jungqvist et al., 2014). La ts influye en procesos importantes para los cultivos como la absorción de agua y nutrientes y la síntesis de hormonas en las raíces (Fischer y Ordúz-Rodríguez, 2012); es bien conocido que las raíces son un lugar de síntesis de hormonas, principalmente de hormonas citoquininas (Lambers y Oliveira, 2019) y giberelinas, que controlan el crecimiento por división y elongación celular, respectivamente (Taiz et al., 2017).

Para muchas especies tropicales, el rango de temperatura edáfica óptima se encuentra entre los 20 y 25°C, pero no debe superar los 30 o 32°C (Rengel et al., 2023). Para los frutales, Agustí (2010) recomienda, en general, un rango de T_s entre 10 y 30°C, ya que temperaturas inferiores o superiores reducen marcadamente el desarrollo del sistema radical. Con temperaturas edáficas muy bajas (esto es, menores a 10°C), la absorción de nutrientes es muy limitada (Patil y Kulkarni, 2016), especialmente del fósforo, que se transporta a las raíces por difusión; así mismo, en las raíces, que crecen con baja temperatura, la permeabilidad de las membranas es reducida y la viscosidad de los líquidos aumenta, lo que disminuye su transporte en el sistema radical y su entrada al xilema del tallo (Fischer y Orduz-Rodríguez, 2012).

Con T_s de 14, 22 y 30°C en la uchuva o *goldenberry*, la mayor acumulación de masa seca (MS) de la planta se obtuvo a 22°C; a 14°C se obtuvo mayor acumulación de MS de raíces finas; pero la acumulación de MS de frutos fue mayor con 30°C. La fotosíntesis y el uso eficiente del agua incrementaron hasta 30°C, mientras que la tasa transpiratoria fue la más alta a 22°C (Fischer et al., 2000). En la tabla 3.2 se muestra el resumen de los efectos que eventualmente puede generar el incremento de la temperatura del suelo; para más detalles, consultar a Fischer et al. (2022c).

Tabla 3.2. *Parámetros fisiológicos de los frutales que se ven afectados por el incremento de la temperatura del suelo, dentro del rango mínimo (de 8 a 15°C) y máximo (de 32 a 43°C) según la especie*

	<i>Incrementa</i>	<i>Disminuye</i>
Proceso o parámetro	Síntesis hormonal, toma de agua y nutrientes. Tasa fotosintética, tasa transpiratoria, conductancia estomática, uso eficiente del agua. Biomasa de raíz y formación de raíces adventicias y crecimiento longitudinal de raíces. Crecimiento vegetativo, biomasa de la planta. Fluidez y semipermeabilidad de las membranas. Crecimiento reproductivo, número de frutos, biomasa de frutos.	Tolerancia a las inundaciones. Biomasa de raíces finas

Fuente: Modificado de Fischer et al. (2022c).

Radiación solar

En periodos de alta radiación solar, ocasionados por la disminución de la capa atmosférica de ozono y el calentamiento global, las plantas son capaces de reducir más CO₂ y aumentar la producción de carbohidratos que garantice un llenado y dulzura de los frutos de forma óptima (Sherman y Beckman, 2003). Los frutales en zonas con una radiación y temperatura mayor, dentro del rango óptimo de la especie, necesitan una menor área foliar para producir la misma utilidad que antes del potencial efecto del CC sobre la radiación; esto favorece a variedades con un rendimiento fotosintético más alto, ya que no sufren por una temprana fotoinhibición (Fischer et al., 2012). Pero una excesiva y prolongada radiación solar puede inducir golpes del sol en frutos carnosos y calentar tanto las células afectadas que los frutos se rajan (Fischer et al., 2021a), lo que, además, puede agravarse por la presencia de patógenos que atacan estos tejidos enfermos, denominados patógenos secundarios (Fischer et al., 2022d).

En granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) el golpe de sol es la fisiopatía más importante, provocada por el exceso de radiación solar en frutos desprotegidos por las hojas; normalmente se acentúa luego de la poda de ramas o por una sequía, que reduce el área foliar (Rivera et al., 2002).

El golpe de sol es igualmente un factor abiótico de alto impacto en aguacate, donde provoca considerables pérdidas al ser considerado un agente de rechazo de la fruta en proceso de selección (poscosecha), y cuyo origen se ha asociado a altas radiaciones y árboles con bajas áreas foliares (Ramirez-Gil et al., 2020). Además, un exceso de radiación genera golpe de sol en los frutos de gulupa y disminuye el desarrollo normal de la planta (Jiménez et al., 2012). Para mandarina Satsuma se detalla en la tabla 3.3 el efecto de la alta radiación sobre la presencia de golpe de sol y de otros parámetros fisicoquímicos.

Por otra parte, la ausencia de nubes, sobre todo en épocas secas prolongadas, hacen más probable la presencia de rayos ultravioletas (UV), particularmente los UV-B, entre 280 y 320 nm que inciden mayormente en zonas con altitudes más altas (Fischer et al., 2022d). Varias especies han desarrollado mecanismos de protección, las hojas son más pequeñas, pero

incrementan el número de capas de células en el mesófilo; por lo tanto, son más gruesas, con una cutícula más resistente y, en algunos casos, pubescencia densa y mayor número de estomas en altitudes más altas. En la uchuva (*Physalis peruviana L.*) se ha reportado como mecanismo de evolución una densa pubescencia en sus partes verdes (Fischer y Melgarejo, 2020).

Tabla 3.3. Respuesta de los frutos de la mandarina Satsuma (*Citrus unshiu* Marc.) a la alta radiación causando golpe de sol

Condición	Aumento	Disminución
Comparación de la severidad del daño usando los grados I: leve, II: poco, III: moderado-severo y IV: severo.	Daños a epidermis y glándulas aceitosas aumentaron con la severidad del golpe de sol. Polifenoles totales y la actividad antioxidante se aumentaron en frutos sin golpe del sol y los del grado III. Mayor firmeza en frutos quemados.	Con la severidad del golpe del sol se disminuyeron en la corteza los contenidos de clorofila a, b y total. Los carotenoides en la pulpa se redujeron con el aumento del daño. Los sólidos solubles totales y la acidez total titulable disminuyeron en frutos quemados.

Fuente: Modificado de Kim et al. (2022).

En el lulo (*Solanum quitoense Lam.*) ha aumentado la concentración de antioxidantes (antocianinas) en el sistema vascular de la planta (Fischer et al., 2022b), junto con la presencia de tricomas sobre sus pétalos y fruto (Fischer y Orduz-Rodríguez, 2012). Respecto a la mora, se reporta la presencia de tricomas glandulares y simples vellosidades (Moreno-Medina y Casierra-Posada, 2021). Como otro mecanismo de adaptación, la planta incrementa ciertos pigmentos fotoprotectores como antocianinas y carotenoides, además de un mejor sistema antioxidante (Chen et al., 2013). En los frutos también se desarrollan mecanismos de protección, donde se destaca el aumento de pigmentos, compuestos fitoquímicos como los fenoles solubles, flavonoles y la capacidad antioxidante (Martz et al., 2010).

Por otro lado, la baja radiación también es un problema asociado al CC que altera los sistemas productivos de frutales, y que se acentúa en épocas de lluvias. La poca radiación no es suficiente para que los frutales mantengan altas tasas de fotosíntesis; por tal razón estarían por debajo de su punto de saturación lumínica. También se afecta la apertura estomatal, que conlleva un menor intercambio gaseoso; esto puede alterar la fotosíntesis directamente, pero también de forma indirecta, por un menor movimiento de iones a la parte aérea siguiendo la vía de flujo de masas. Lo anterior es más común para iones con movimiento y preferencia por xilema como Ca^{2+}

y B, cuya disminución potencialmente causa problemas reproductivos y gran cantidad de fisiopatías en los frutos.

La falta de luz en los frutales se considera también como responsable del pobre desarrollo del color. Por lo anterior, la baja radiación es un factor que disminuye la producción, pero también la calidad de los frutales. La gulupa es muy susceptible a los cambios de radiación solar porque afectan la productividad de las plantas; los días nublados disminuyen el crecimiento, la inducción de botones y la apertura florales (Fischer y Miranda, 2021). Ocampo y Posada (2012) afirman que la nubosidad excesiva durante la fructificación de la gulupa retrasa la maduración, disminuye el contenido de sólidos solubles y la calidad del jugo.

CO₂

El aumento en la concentración de CO₂ atmosférico está clasificado como una de las mayores causas del CC, y se predice un incremento hasta de 600 o 700 ppm para fines de este siglo (Leung et al., 2014). Las plantaciones de frutales son sistemas de producción que pueden secuestrar carbono de la atmósfera (Sharma et al., 2021). El CO₂ representa el sustrato más beneficioso para la fotosíntesis; de manera que es el contribuyente de mayor importancia en la producción mundial de los alimentos (DaMatta et al., 2010).

Las concentraciones elevadas de CO₂ (e-CO₂), pueden fomentar la fotosíntesis, aumentar la biomasa y el uso eficiente de agua, e influyen positivamente en el rendimiento y la calidad de los frutos (Rajan et al., 2020). Estos últimos autores señalan que el e-CO₂ intensificaría la fotosíntesis a temperaturas cercanas al óptimo del cultivo y no a la baja.

Por su parte, Mishra et al., (2019) afirman que la razón clave de esta fotosíntesis enriquecida es el aumento de la eficiencia de carboxilación de la RuBisCO, que es relativamente baja en la concentración del CO₂ atmosférico ambiental. Al respecto, en el transcriptoma de los tejidos foliares en fresa se identificaron 150 genes expresados diferencialmente en respuesta al e-CO₂, de los cuales 14 estaban involucrados en la fotosíntesis (Li et al., 2020). Fischer et al., (2022a) resaltan el “efecto de fertilización

del CO₂” a los cultivos de frutales que aumentaría potencialmente bajo escenarios de cc.

Los estudios en invernadero y con enriquecimiento de dióxido de carbono al aire libre (FACE, por sus siglas en inglés) mostraron un aumento del rendimiento fotosintético y con esto una mayor producción de uvas (Wohlfahrt et al., 2018). En la pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* K. Schum. ex Vaupel), las plantas con un e-CO₂ de 1.000 ppm reaccionaron con 129, 68 y 233 % de aumento en la toma diaria del CO₂, en masa seca del tallo y en número de botones florales, respectivamente; además de 63 % de mayor peso fresco en los frutos, comparado con los desarrollados en CO₂ ambiental (Weiss et al., 2010).

Tabla 3.4. *Procesos fisiológicos y parámetros de crecimiento y rendimiento que se ven afectados por el e-CO₂ en frutales*

	<i>Incrementa</i>	<i>Disminuye</i>
Proceso o parámetro	Uso eficiente del agua, tasa de fotosíntesis, toma de nitrógeno*, tasa respiratoria*, producción de biomasa, grosor del tronco y número de ramas, rendimiento.	Conductancia estomática, transpiración, regeneración de RuBP, nitrógeno foliar.

Nota: * El proceso puede disminuir en algunos casos.

Fuente: Elaborado a partir de Fischer et al. (2022a).

Con un e-CO₂ de 600 a 650 ppm muchas especies de plantas de tipo C3 aumentarán en 30 % la velocidad de su crecimiento (Taiz et al., 2017); además, el e-CO₂ puede aliviar los efectos del estrés por sequía (Leakey, 2009) y anegamiento; por ejemplo, en especies de *Prunus* (Pérez-Jiménez et al., 2017). En cítricos, los cambios morfológicos de la hoja, en particular la disminución de la densidad estomática, puede presentarse en respuesta al aumento de la concentración de CO₂ (Vincent et al., 2020). Algunos frutales compensan la reducción de la presión parcial del CO₂ en la altitud tropical por el aumento del número de estomas foliares, como reportan Fischer y Melgarejo (2020) para el caso de la uchuva.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que el mayor crecimiento de los frutales por el e-CO₂ exige un considerable suministro de nutrientes y agua, por lo cual es muy importante la selección de genotipos que se benefician del e-CO₂ y que presentan un uso eficiente de nitrógeno y agua (Fischer et al., 2022a).

Cambios en la precipitación

Como uno de los mayores efectos del CC, se prevén condiciones de sequía, esto es, la reducción de precipitaciones. Además del déficit hídrico, están las altas temperaturas que generan factores de estrés abiótico de mayor envergadura, que en muchos casos, por su ocurrencia simultánea, perjudican el desarrollo de los cultivos y sus rendimientos (Zandalinas et al., 2017). Así mismo, de acuerdo con estos autores, dichos desafíos ambientales conducen a estrés oxidativo en los cultivos por la síntesis de especies reactivas al oxígeno (ROS), principalmente por el desacople de las fases en la fotosíntesis. Las ROS son la principal causa de daños importantes a nivel celular y molecular que luego desencadenan graves problemas en la fisiología y la producción de los frutales y, en general, de las plantas. De acuerdo con Restrepo-Díaz y Sánchez-Reinoso (2020), el estrés hídrico es una de las principales causas de pérdida de los rendimientos en los frutales, especialmente cuando el estrés se presenta en la etapa reproductiva, generando una disminución en los rendimientos de 8 a 40 %.

Mendoza-Vargas et al. (2021) observaron que en plantas de uchuva, bajo estrés por déficit hídrico, se presentó mayor temperatura foliar y prolina; sin embargo, disminuyeron la conductancia estomática, el contenido relativo de agua, la altura y el número de hojas. Bajo estrés hídrico, las plantas de uchuva redujeron el crecimiento longitudinal de sus ramas, perjudicando el llenado y el número de los frutos que se desarrollan en la mayoría de los nudos de las ramas reproductivas (Fischer y Melgarejo, 2020). Del mismo modo, la menor área foliar y el cierre parcial de los estomas promovido por el estrés hídrico afectan notablemente la fotosíntesis y, en consecuencia, el crecimiento y la producción de la planta, sobre todo si el estrés ocurre durante el llenado del fruto (Gariglio et al., 2007).

El estrés hídrico severo, característico del fenómeno de variabilidad climática como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), reduce drásticamente el crecimiento de la planta de uchuva, generando hojas y frutos más pequeños (Fischer y Melgarejo, 2014) y afectando de forma importante su productividad, tal como se presenta para algunos frutales en la tabla 3.5. Para el caso de granadilla, el estrés hídrico en las etapas reproductivas, desde la preflo-

ración hasta el llenado del fruto, provoca la abscisión de las estructuras florales y reduce considerablemente el rendimiento (Miranda, 2020). Este efecto perjudicial en la fase reproductiva también está relacionado con la deficiencia de nutrientes como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y boro (B) (Fischer y Miranda, 2021).

Existen mecanismos de adaptación según la especie y variedad; por ejemplo, en el caso de los cítricos (citrange Carrizo y mandarina Cleopatra), el Carrizo es más tolerante a las condiciones de sequía y a las altas temperaturas debido a su enfriamiento foliar por el aumento de la transpiración y por su habilidad de modular el flujo de los electrones fotosintéticos, por lo cual el daño oxidativo es menor (Zandalinas et al., 2016). Sin embargo, este proceso, en teoría, implicaría un aumento en el consumo de agua, lo que sería altamente limitante; pues durante el ENOS se prevé una reducción en la precipitación y los niveles de agua disponible en suelo. Bajo condiciones de sequía, Bartels y Sunkar (2005) consideran que el ácido abscísico (ABA) es una hormona esencial para identificar el estrés y está implicado en el control del cierre estomático, en la expresión de genes que conducen a respuestas adaptativas y en la producción de osmolitos compatibles (Zandalinas et al., 2016).

Tabla 3.5. Respuesta en producción de los frutales al déficit hídrico

Especie	Respuesta	Referencia
Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	El déficit prolongado de agua puede limitar el transporte de azúcares desde hojas hacia frutos y disminuir la síntesis de lípidos en las semillas en desarrollo, lo que resulta en un menor peso de frutos y semillas.	Lahive et al. (2019).
Banano (<i>Musa sp.</i>)	Reducción en el tamaño de dedos y una disminución en el peso fresco de frutos.	Panigrahi et al. (2021).
Mango (<i>Mangifera indica</i>)	Se disminuyó el peso de los frutos, la pulpa y las semillas, así como por largo y ancho de frutos individuales. Se disminuyó la cantidad de frutos por árbol que alcanzaron un estado de madurez.	Helaly et al. (2017).

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, Gariglio et al. (2007) recomiendan la selección de variedades más tolerantes a la sequía, cuyas estrategias adaptativas estarían en el hecho de que presentan cierre estomático temprano, transpiración cuticular

efectiva, reducción del área foliar por abscisión y habilidad de cambiar la orientación de la hoja hacia el sol. Igualmente, Fischer y Ordúz-Rodríguez (2012) sugieren que los genotipos de frutales con un sistema radical profundo y extensivo son importantes para resistir periodos de estrés hídrico prolongados.

Anegamiento e inundación

Como efecto del cc, los eventos por anegamiento e inundación se están incrementando en frecuencia y son impredecibles a nivel global debido a las lluvias erráticas y no estacionales (Dubey et al., 2021). La inundación de los suelos es uno de los factores más nocivos para la producción de los cultivos (Kaur et al., 2020) y pueden causar pérdidas en los rendimientos de 10 a 40 % (Aldana et al., 2014); su efecto es mucho más grave con la presencia de fenómenos climáticos como el ENSO-La Niña. Por su parte, Schaffer et al. (2009) observaron que en uno o dos días de anegamiento la concentración de oxígeno en el suelo puede disminuir de 20 % a menos de 5 %. Esta condición afecta notablemente el funcionamiento de la raíz; por ejemplo, en especies altamente susceptibles a inundación como el aguacate, la saturación de agua superior a 45 % asociada a un contenido de gases en suelo menor de 35.9 % presenta un alto impacto en variables de crecimiento y desarrollo de esta especie por la inducción del problema fisiopatológico conocido como pudrición de raíces por una condición de hipoxia-anoxia (Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2019).

En este sentido, y de acuerdo con Restrepo-Díaz y Sánchez-Reinoso (2020), el primer síntoma que se presenta es un cierre estomático que influye en la absorción pasiva del agua; también se produce un descenso de la transpiración, lo que provoca el marchitamiento y la senescencia de las hojas; el crecimiento del tallo, el área foliar, el cuajado del fruto y el rendimiento también pueden verse afectados (Restrepo-Díaz y Sánchez-Reinoso, 2020).

Muchos frutales responden al estrés por inundación mediante la reducción de la tasa fotosintética y conductancia estomática, como por ejemplo en citrus “Cleopatra” (Pérez-Jiménez y Pérez-Tornero, 2021), aguacate (Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2019a) y papaya (Rodríguez et al., 2014);

o por el contenido o índice de clorofila, en maracuyá (Basso et al., 2019), gulupa (Chebet et al., 2020) y naranjilla (Sánchez-Reinoso et al., 2019).

El anegamiento causa diferentes respuestas fisiológicas en plantas de uchuva. Se ha reportado en plántulas de este frutal una disminución de la conductancia estomática de $\sim 410 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a $\sim 210 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ con 8 días de anegamiento (Chávez-Arias et al., 2019). Estos mismos autores también encontraron disminución del potencial hídrico foliar, área foliar y parámetros de la fluorescencia de la clorofila a (F_v/F_m , ETR, Y(II) y qP), mientras que los contenidos de malondialdehído y prolina incrementaron.

De acuerdo con Faria et al. (2020) el maracuyá se considera como moderadamente sensible al exceso de agua en el suelo; sin embargo, Basso et al. (2019) reportan que esta especie no tolera el anegamiento por más de 4 días, tal condición afecta notablemente el crecimiento de las raíces y el tallo. Esta observación concuerda con la clasificación de Crane et al. (2020), donde se reporta que las pasifloráceas no son tolerantes al anegamiento o a los terrenos inundados (tabla 3.6). En el caso de la naranjilla (o lulo), la planta disminuye su crecimiento por anegamiento a partir de 6 días (Cardona et al., 2016) y la fotosíntesis a partir de 3 días (Sánchez-Reinoso et al., 2019).

Tabla 3.6. Grupos de tolerancia en frutales tropicales y subtropicales al anegamiento

Tolerantes	Moderadamente tolerantes	No tolerantes
Guayaba (<i>Psidium guajava</i>)	Litchi (<i>Litchi chinensis</i>)	Aguacate (<i>Persea americana</i>)
Sapodilla (<i>Manilkara sapota</i>)	Longan (<i>Dimocarpus longan</i>)	Papaya (<i>Carica papaya</i>)
Caimito (<i>Pouteria caimito</i>)	Limón 'Tahiti' (<i>Citrus × latifolia</i>)	Mamey sapote (<i>Pouteria sapota</i>)
Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	Anistel (<i>Pouteria campechiana</i>)	Anón (<i>Annona squamosa</i>)
Citrus injertados (<i>Citrus spp.</i>)	Mango (<i>Mangifera indica</i>)	Atemoya (<i>Annona × atemoya</i>)
	Carambola (<i>Averrhoa carambola</i>)	Pasifloráceas (<i>Passiflora spp.</i>)
	Banano (<i>Musa × paradisiaca</i>)	Jackfruit (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)

Fuente: Adaptado por Crane et al. (2020).

Es necesario tener en cuenta que en cualquier grupo de tolerancia que se reporta en la tabla 3.6, las plantas pueden ser afectadas por las enfermedades de raíces, dado que la humedad podría actuar como factor predisponente en la planta, o alterar de forma directa la cantidad de inóculo del agente causal, o actuar como mecanismo de diseminación de la enfermedad (Ramírez-Gil et al., 2021). También se debe mencionar que cuando los periodos de lluvias son muy prolongados se puede afectar la inducción floral; esto es debido a que algunos frutales precisan un tiempo de déficit hídrico seguido de un buen suministro de agua, como ocurre con la mandarina. Orduz y Fischer (2007) reportan que en esta especie de la variedad Arrayana se presentó la principal floración completa después de un periodo de estrés hídrico de 90 días, acumulando un déficit de 247 mm durante ese tiempo.

Conclusiones

Los fenómenos de variabilidad y cambio climático con sus eventos extremos, tales como incremento en temperatura, variación en la precipitación, sequías, inundación, mayor radiación, entre otros, presentan múltiples efectos en la producción y calidad de los frutales, especialmente en el trópico y subtropico, los cuales podrían ser perjudiciales. Por su parte, las temperaturas elevadas (esto es, mayores a 30°C) asociadas a la variabilidad y cambio climático disminuyen la duración de procesos de floración y de cuajado, afectan la fotosíntesis, el rendimiento y la calidad del fruto, acortando los ciclos fenológicos, pero con potenciales impactos sobre parámetros de calidad de los frutos por menor bioacumulación de compuestos funcionales.

Las radiaciones solares altas y prolongadas causan el golpe del sol en los frutos carnosos, especialmente en frutales con deficiente área foliar y en altitudes mayores por la excesiva radiación UV. La baja radiación solar en épocas prolongadas de nubosidad y lluvia disminuyen la fotosíntesis, producción y calidad (color y sabor) de los frutos. En su caso, el aumento de la concentración de CO₂ atmosférico asociada al efecto invernadero, como una de las razones inherentes dentro de los fenómenos de cambio climático, podrían favorecer la tasa fotosintética de los frutales y, de este modo, la

producción y calidad de los frutos, pero se trata de sólo una variable dentro de muchas otras que se verán afectadas bajo escenarios de cambio climático. Para lograr entender cómo se comporta una especie deben desarrollarse ensayos bajo incrementos en temperatura, variaciones en precipitación, etcétera.

El estrés hídrico que ocurre normalmente con temperaturas elevadas genera pérdida de producción en los cultivos; especialmente cuando sucede en la etapa reproductiva y en las primeras fases. Esta situación hace necesaria la búsqueda de patrones adaptativos más eficientes ante dicha adversidad mediante múltiples respuestas, como un cierre estomático más temprano, una reducción del área foliar y de la fotosíntesis, entre otros. Del mismo modo, el anegamiento y la inundación de los suelos son de los factores más nocivos para los cultivos, debido a la falta de oxígeno para el funcionamiento de las raíces, lo que causa un cierre estomático más prolongado, marchitamiento y senescencia foliar prematura, afectando en altos niveles la producción de los frutales. Por lo anterior, es indispensable desarrollar múltiples estrategias de mitigación y adaptación a este fenómeno.

Referencias

- Agustí, M. (2010). *Fruticultura*. Mundi-Prensa.
- Aldana, F., García, P. N., y Fischer, G. (2014). Effect of waterlogging stress on the growth, development and symptomatology of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plants. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(149), 393-400.
- Ali, M. M., Yousef, A. F., Li, B., y Chen, F. (2021). Effect of environmental factors on growth and development of fruits. *Tropical Plant Biology*, 14, 226-238.
- Barnabás, B., Järger, K., y Fehér, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*, 31, 11-38.
- Bartels, D., y Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *CRC Critical Review of Plant Science*, 24, 23-58.
- Basso, C., Rodríguez, G., Rivero, G., León, R., Barrios, M., y Díaz, G. (2019). Respuesta del cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) a condiciones de estrés por inundación. *Bioagro*, 31(3), 185-192.
- Cardona, W. A., Bautista-Montealegre, L. G., Flórez-Velasco, N., y Fischer, G. (2016). Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrio-*

- nale) en respuesta al sombrío y anegamiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 53-65.
- Ceulemans, R., Janssens, I. A., y Jach, M. E. (1999). Effects of CO₂ enrichment on trees and forests: Lessons to be learned in view of future ecosystem studies. *Annals of Botany*, 84(5), 577-590.
- Chávez-Arias, C. C., Gómez-Caro, S., y Restrepo-Díaz, H. (2019). Physiological, biochemical and chlorophyll fluorescence parameters of *Physalis peruviana* L. seedlings exposed to different short-term waterlogging periods and fusarium wilt infection. *Agronomy*, 9, 213.
- Chebet, D., Kariuki, W., Wamocho, L., y Rimberia, F. (2020). Effect of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, biochemical characteristics and nutrient uptake of passion fruit seedlings under flooding stress. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 16(4), 24-31.
- Chen, C., Li, H., Zhang, D., Li, P., y Ma, F. (2013). The role of anthocyanin in photoprotection and its relationship with the xanthophyll cycle and the antioxidant system in apple peel depends on the light conditions. *Physiologia Plantarum*, 149(3), 354-66.
- Crane, J. H., Balerdi, C. F., y Schaffer, B. (2020). Managing your tropical fruit grove under changing water table levels. *EDIS*, 2016(10). <https://doi.org/10.32473/edis-hs202-2003>
- DaMatta, F. M., Grandis, A., Arenque, B. C., y Buckeridge, M. S. (2010). Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. *Food Research International*, 43, 1814-1823.
- Das, H. P. (2012). *Agrometeorology in extreme events and natural disasters*. BS Publications.
- Dubey, S. S., Kuruwanshi, V. B., Bhagat, K. P., y Ghodke, P. H. (2021). Impact of excess moisture in onion genotypes (*Allium cepa* L.) under climate change. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(3), 166-175.
- Faria, L. O., Souza, A. G. V., Alvarenga, F. P., Silva, F. C. M., Junior, J. S. R., Amorim, V. A., Borges, L. P., y Matos, F. S. (2020). *Passiflora edulis* growth under different water regimes. *Journal of Agricultural Science*, 12(4). <https://doi.org/10.5539/jas.v12n4p231>
- Fischer, G., Melgarejo, L. M., y Balaguera-López, H. E. (2022a). Review on the impact of elevated CO₂ concentrations on fruit species in the face of climate change. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2).
- Fischer, G., Parra-Coronado, A., y Balaguera-López, H. E. (2022b). Altitude as a determinant of fruit quality with emphasis on the Andean tropics of Colombia. A review. *Agronomía Colombiana*, 40(2), 212-227.
- Fischer, G., Balaguera-López, H. E., y Cleves-Leguizamo, J. A. (2022c). Impact of soil temperature on fruit species within climate change scenarios. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 16(1).
- Fischer, G., Orduz-Rodríguez, J. O., y Amarante, C. V. T. do (2022d). Sunburn disorder in tropical and subtropical fruits. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 16(3). <https://doi.org/10.17584/rcch.2022v16i3.15703>
- Fischer, G., y Miranda, D. (2021). Review on the ecophysiology of important Andean

- fruits: *Passiflora* L. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(2), 9471-9481.
- Fischer, G., Balaguera-López, H. E., y Álvarez-Herrera, J. (2021a). Causes of fruit cracking in the era of climate change. A review. *Agronomía Colombiana*, 39(2), 196-207.
- Fischer, G., y Melgarejo, L. M. (2020). The ecophysiology of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) - an Andean fruit crop. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 14(1), 76-89.
- Fischer, G., Ramírez, F., y Casierra-Posada, F. (2016). Ecophysiological aspects of fruit crops in the era of climate change. A review. *Agronomía Colombiana*, 34(2), 190-199.
- Fischer, G., y Melgarejo, L. M. (2014). Ecofisiología de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). En C. P. Carvalho y D. A. Moreno (Eds.), *Physalis peruviana: fruta andina para el mundo* (pp.31-47). Limencop SL.
- Fischer, G., y Orduz-Rodríguez, J. O. (2012). Ecofisiología en frutales. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 54-72). Produmedios.
- Fischer, G., Ramírez, F., y Almanza-Merchán, P. J. (2012). Inducción floral, floración y desarrollo del fruto. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (120-140). Produmedios.
- Fischer, G., Casierra-Posada, F., y Piedrahíta, W. (2009). Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. En D. Miranda, G. Fischer, C. Carranza, S. Mag-nitskiy, F. Casierra, W. Piedrahíta y L. E. Flórez (Eds.), *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba* (45-67). Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas.
- Fischer, G., Ebert, G., y Lüdders, P. (2000). Root-zone temperature effects on dry matter distribution and leaf gas exchange of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Acta Horticulturae*, 531, 169-173.
- Gariglio, N. F., Pilatti, R. A., y Agustí, M. (2007). Requerimientos ecofisiológicos de los árboles frutales. En G. O. Sozzi (Ed.), *Árboles frutales. Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento* (41-82). Editorial Universidad de Buenos Aires.
- Helaly, M. N., El-Hoseiny, H., El-Sheery, N. I., Rastogi, A., y Kalaji, H. M. (2017). Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of mango. *Plant physiology and biochemistry*, 118, 31-44.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014a). Annex II: Glossary. En *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 117-130). IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014b). *AR5 Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Summary for Policymakers. En *Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes terrestrial ecosystems*. IPCC.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). Summary for policymakers. En T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P. M. Midgley (Eds.), *Climate change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Jiménez, Y., Carranza, C., y Rodríguez, M. (2012). Gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 579-599). Pro-umedios.
- Jungqvist, G., Oni, S. K., Teutschbein, C., y Futter, M. N. (2014). Effect of climate change on soil temperature in Swedish boreal forests. *PLOS ONE*, 9(4).
- Kaur, G., Singh, G., Motavalli, P. P., Nelson, K. A., Orlowski, J. M., y Golden, B. R. (2020). Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils: A review. *Agronomy Journal*, 112(3), 1475-1501.
- Kim, M., Park, Y., Yun, S. K., Kim, S. S., Joa, J., Moon, Y.-E., y Do, G.-R. (2022). The anatomical differences and physiological responses of sunburned Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruits. *Plants*, 11(14).
- Lahive, F., Hadley, P., y Daymond, A. J. (2019). The physiological responses of cacao to the environment and the implications for climate change resilience. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(5). <http://doi.org/10.1007/s13593-018-0552-0>
- Lambers, H., y Oliveira, F. S. (2019). *Plant physiological ecology*. Springer Nature.
- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology*. Springer-Verlag.
- Leakey, A. D. B. (2009). Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the future of C4 crops for food and fuel. *Proceedings of the Royal Society B*, 276, 2333-2343.
- Leung, D. Y., Caramanna, G., y Maroto-Valer, M. M. (2014). An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 39, 426-443.
- Li, X., Zhao, J., Shang, M., Song, H., Zhang, J., Xu, X., Zheng, S., Hou, L., Li, M., y Xing, G. (2020). Physiological and molecular basis of promoting leaf growth in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) by CO₂ enrichment. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 34(1), 905-917.
- Martz, F., Jaakola, L., Julkunen-Tiitto, R., y Stark, S. (2010). Phenolic composition and antioxidant capacity of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) leaves in Northern Europe following foliar development and along environmental gradients. *Journal of Chemical Ecology*, 36, 1017-1028.
- Mateus Rodríguez, J. F. (2022). *Evaluating the combined effects of climate change parameters on growth and physiology of Theobroma cacao L.* [Tesis de postdoctorado, University of Reading].
- Mendoza-Vargas, L. A., Villamarín-Romero, W. P., Cotrino-Tierradentro, A. S., Ramírez-Gil, J. G., Chávez-Arias, C. C., Restrepo-Díaz, H., y Gómez-Caro, S. (2021). Physiological response of cape gooseberry plants to *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali*, fusaric acid, and water deficit in a hydroponic system. *Frontiers in Plant Science*, 12.
- Miranda, D. (2020). Granadilla: *Passiflora ligularis* Juss. En A. Rodríguez, F. G. Faleiro, M.

- Parra y A. M. Costa (Eds.), *Pasifloras: especies cultivadas en el mundo* (65-103). ProImpress.
- Mishra, A.K., Agrawal, S. B., y Agrawal, M. (2019). Rising atmospheric carbon dioxide and plant responses: current and future consequences. En *Climate change and agricultural ecosystems* (pp. 265-306). Elsevier.
- Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, 11, 15-19.
- Moreno-Medina, B. L., y Casierra-Posada, F. (2021). Caracterización de especies de mora (*Rubus* sp.) cultivadas en los altiplanos tropicales. En G. Fischer, D. Miranda, S. Magnitskiy, H. E. Balaguera-López y Z. Molano (Eds.), *Avances en el cultivo de las berries en el trópico* (pp.102-112). Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. <https://doi.org/10.17584/IBerrie>
- Ocampo, J., y Posada, P. (2012). Ecología del cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims). En J. Ocampo y K. Wyckhuys (Eds.), *Tecnología para el cultivo de la gulupa en Colombia* (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) (29-32). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Orduz, J., y Fischer, G. (2007). Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina ‘Arrayana’ en el piedemonte llanero de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 255-263.
- Panigrahi, N., Thompson, A. J., Zobelzu, S., y Knox, J. W. (2021). Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. *Scientia Horticulturae*, 276.
- Patil, D. D., y Kulkarni, M. E. (2016). Soil temperature and its influence of crop growth. *Readers Shelf*, 12(9), 41-42.
- Pérez-Jiménez, M., y Pérez-Tornero, O. (2021). Short-term waterlogging in Citrus rootstocks. *Plants*, 10(12).
- Pérez-Jiménez, M., Hernández-Munuera, M., Piñero, M. C., López-Ortega, G., y Amor, F. M. del (2017). CO₂ effects on the waterlogging response of ‘Gisela’ 5 and ‘Gisela 6’ (*Prunus cerasus* × *Prunus canescens*) sweet cherry (*Prunus avium*) rootstocks. *Journal of Plant Physiology*, 213, 178-187.
- Porter, J. R., Howden, M., y Smith, P. (2017). Considering agriculture in IPCC assessments. *National Climate Change*, 7, 680-683.
- Rajan, R., Feza, M., Pandey, K., Aman, A., y Kumar, V. (2020). Climate change and resilience in fruit crops. En *Climate change and its effects on Agriculture* (337-354). *Biotec Books*.
- Ramirez, F., y Kallarackal, J. (2015). *Responses of fruit trees to global climate change*. Springer International Publishing.
- Ramírez-Gil, J. G., Castañeda-Sánchez, D., y Morales-Osori, J. G. (2021). Edaphic factors associated with the development of avocado wilt complex and implementation of a GIS tool for risk visualization. *Scientia Horticulturae*, 288.
- Ramírez-Gil, J. G., Cobos, M. E., Jiménez-García, D., Morales-Osorio, J. G., y Peterson, A. T. (2019a). Current and potential future distributions of Hass avocados in the face of climate change across the Americas. *Crop and Pasture Science* 70, 694-708.

- Ramírez-Gil, J. G., Franco, G., y Henao-Rojas, J. C. (2019b). Review of the concept of quality in Hass avocado and the pre-harvest and harvest factors that determine it under tropical conditions. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13, 359-370.
- Ramírez-Gil, J. G., López, J. H., y Henao-Rojas, J. C. (2020). Causes of Hass avocado fruit rejection in preharvest, harvest, and packinghouse: Economic losses and associated variables. *Agronomy*, 10(8).
- Ramírez-Gil, J. G., y Morales-Osorio, J. G. (2020). Development and validation of severity scales of avocado wilt complex caused by *Phytophthora cinnamomi*, *Verticillium dahliae* and hypoxia-anoxia disorder and their physiological responses in avocado plants. *Agronomía Colombiana*, 38(1), 85-100.
- Ramírez-Gil, J. G., y Morales-Osorio, J. G. (2018). Microbial dynamics in the soil and presence of the avocado wilt complex in plots cultivated with avocado cv. Hass under ENSO phenomena (El Niño–La Niña). *Scientia Horticulturae*, 240, 273-280.
- Rengel, Z., Cakmak, I., y White, P. J. (2023). *Marschner's mineral nutrition of plants*. Academic Press.
- Restrepo-Díaz, H., y Sánchez-Reinoso, A. D. (2020). Chapter 5. Ecophysiology of fruit crops: A glance at its impact on fruit crop productivity. En A. K. Srivastava y C. Hu (Eds.), *Fruit Crops: Diagnosis and Management of Nutrient Constraints* (59-66). Elsevier.
- Rivera, B., Miranda, D., Ávila, L., y Nieto, A. (2002). *Manejo integral del cultivo de la granadilla Passiflora ligularis Juss*. Editora Litoas.
- Rodríguez, G., Schaffer, B., Basso, C., y Vargas, A. (2014). Efecto del tiempo de inundación del sistema radical sobre algunos aspectos fisiológicos y desarrollo del cultivo de lechosa (*Carica papaya* L.). *Revista Facultad de Agronomía (UCV)*, 40(3), 89-98.
- Sánchez-Reinoso, A. D., Jiménez-Pulido, Y., Martínez-Pérez, J. P., Pinilla, C. S., y Fischer, G. (2019). Chlorophyll fluorescence and other physiological parameters as indicators of waterlogging and shadow stress in lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) seedlings. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(3), 325-335.
- Schaffer, B., Urban, L., Lu, P., y Whiley, A. (2009). Ecophysiology. En R. E. Litz (Ed.), *The mango. Botany, production and uses* (170-209). CAB International.
- Shafqat, W., Naqvi, S. A., Maqbool, R., Haider, M. S., Jaskani, M. J., y Khan, I. A. (2021). Climate change and citrus. En M. S. Khan e I. A. Khan (Eds.), *Citrus: Research, Development and Biotechnology* (1-22). IntechOpen.
- Sharma, S., Rana, V. S., Prasad, H., Lakra, J., y Sharma, U. (2021). Appraisal of carbon capture, storage, and utilization through fruit crops. *Frontiers in Environmental Science*, 9.
- Sherman, W. B., y Beckman, T. G. (2003). Climatic adaptation in fruit crops. *Acta Horticulturae*, 622, 411-428.
- Swaminathan, M. S., y Kesavan, P. C. (2012). Agricultural research in an era of climate change. *Agricultural Research*, 1, 3-11.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., y Murphy, A. (2017). *Fisiología e desenvolvimento vegetal*. Artmed.
- Thokchom, R., y Mandal, G. (2017). Production preference and importance of passion

- fruit (*Passiflora edulis*): A review. *Journal of Agricultural Engineering and Food Technology*, 4(1), 27-30.
- Torres, M., Pierantozzi, P., Searles, P., Rousseaux, M. C., García-Inza, G., Miserere, A., Maestri, D. (2017). Olive cultivation in the southern hemisphere: flowering, water requirements and oil quality responses to new crop environments. *Frontiers in Plant Science*, 8.
- Vincent, C., Morillon, R., Arbona, V., y Gómez-Cadenas, A. (2020). Citrus in changing environments (271-289). En *The genus citrus*. Woodhead Publishing.
- Weiss, I., Mizrahi, Y., y Raveh, E. (2010). Effect of elevated CO₂ on vegetative and reproductive growth characteristics of the CAM plants *Hylocereus undatus* and *Selenicereus megalanthus*. *Scientia Horticulturae*, 123, 531-536.
- Wohlfahrt, Y., Smith, J. P., Tittmann, S., Honermeier, B., y Stoll, M. (2018). Primary productivity and physiological responses of *Vitis vinifera* L. cvs. under Free Air Carbon-dioxide Enrichment (FACE). *European Journal of Agronomy*, 101, 149-162.
- Yohannes, H. (2016). A review on relationship between climate change and agriculture. *Journal of Earth Science and Climate Change*, 7(2).
- Zandalinas, S. I., Balfagón, D., Arbona, V., y Gómez-Cadenas, A. (2017). Modulation of antioxidant defense system is associated with combined drought and heat stress tolerance in Citrus. *Frontiers in Plant Science*, 8.
- Zandalinas, S. I., Rivero, R. M., Martínez, V., Gómez-Cadenas, A., y Arbona, V. (2016). Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated to the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. *BMC Plant Biology*, 16(105). <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0791-7>
- Zegeye, H. (2018). Climate change in Ethiopia: impacts, mitigation and adaptation. *International Journal of Research in Environmental Studies*, 5, 18-35.

4. Variabilidad climática en la fruticultura tropical: consideraciones para Colombia

LAURA ALEJANDRA VALBUENA GAONA*

MARÍA ISABEL MUNERA LÓPEZ**

GERHARD FISCHER***

STANISLAV MAGNITSKIY****

HELBER ENRIQUE BALAGUERA LÓPEZ*****

JOAQUIN GUILLERMO RAMÍREZ GIL*****



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.04>

Resumen

Colombia pertenece a la zona tropical con alta vocación agrícola y es una de las principales y potenciales despensas agrícolas del mundo, lo que la hace clave para garantizar la seguridad alimentaria a nivel mundial. La producción frutícola en Colombia participa con 17% del total de la producción agrícola nacional. Las líneas de producción frutícola que han presentado la mayor participación en los últimos años son: banano y plátano (44%), cítricos (10%), aguacate (8%), piña (4%), mango (3%) y pasifloras. Este país cuenta con ventajas competitivas, como (a) diversidad de climas y suelos, (b) capacidad productiva del sector agropecuario por presentar áreas con potencial de siembra, y (c) cumplimiento de exigencias en la calidad del producto. Sin embargo, su variabilidad climática, por ejemplo, la presencia de sequías periódicas, es una constante por efectos del fenómeno meteorológico.

* Ingeniera Agrónoma. Profesora, Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5323-8760>

** MBA. Consultora independiente, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5440-3242>

*** Doctor en Ciencias Agrarias. Profesor jubilado, Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8101-0507>

**** PhD en Horticultura. Profesor, Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3715-1932>

**** Doctor en Fisiología Vegetal. Profesor, Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3133-0355>

**** Doctor en Ciencias Agrarias. Profesor, Universidad Nacional de Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0162-3598>

lógico El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), que afectan el rendimiento y la calidad de los frutos tropicales e incrementa la incidencia de plagas y enfermedades, generando aumentos en los costos de insumos y precios del producto final, y afectando la infraestructura. Para mitigar o adaptar frutales a la condición de estrés por sequía se recomienda la selección de genotipos tolerantes, de épocas de siembra, de sistemas de riego, el manejo eficiente del agua, y la aplicación de bioestimulantes.

Palabras clave: *cambios en clima, producción frutícola, Colombia.*

Introducción

El sector de las frutas frescas y procesadas a nivel mundial es uno de los más dinámicos y de mayor crecimiento dentro del mercado de los alimentos (Zanetti et al., 2020). Este avance en importancia ha dado lugar a un aumento continuo en áreas sembradas y producción de frutas en múltiples regiones y zonas del planeta con vocación agrícola (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas [FAO, por sus siglas en inglés], 2023). Tal situación es consecuencia directa de las nuevas tendencias por la alimentación saludable en las cuales las frutas son percibidas en el mercado como grandes aportadoras de compuestos nutricionales de alto valor, con múltiples beneficios sobre la salud humana, y competidores directos de productos comestibles tradicionales (Nguyen et al., 2021).

A nivel mundial, se destacan las zonas tropicales y subtropicales como las áreas de mayor importancia para la producción frutícola (FAO, 2023). La producción mundial de frutas se considera de alta importancia económica, superando a otros sistemas agrícolas, dado que es una industria de alto valor y generación de empleo (Nguyen et al., 2021). Igualmente, como gran parte de la agricultura mundial, presenta múltiples retos a nivel tecnológico, productivo y comercial. Dentro de estos desafíos se destacan aquellos que suscitan incertidumbre, tales como el efecto que producen el cambio y variabilidad climática sobre las zonas productivas y especies cultivadas, la escasez de agua, la disminución de área para siembra, las preferencias del consumidor, la variabilidad de precios, la disminución de

mano de obra rural, los bajos niveles de adopción tecnológica, entre otros (Cáceres-Zambrano et al., 2022).

Colombia es un país que pertenece a la zona tropical con alta vocación agrícola y posee extensas áreas con potencial productivo gracias a la congruencia de condiciones edáficas, climáticas y topográficas que la hacen apta para el desarrollo de múltiples cultivos en diferentes zonas agroecológicas (Universidad Politécnica de Ramos Arizpe [UPRA], 2023). La FAO ha señalado a Colombia como una de las principales y potenciales despensas agrícolas del mundo y un país clave para garantizar la seguridad alimentaria a nivel global (Procolombia, 2022). Durante los últimos años, el área sembrada con sistemas de producción hortofrutícola del país ha tenido un crecimiento sostenido, pasando de 862 000 hectáreas en el 2015 a 1 000 10 000 hectáreas en el 2021; en buena medida gracias a las políticas nacionales agropecuarias que han propuesto aumentar la oferta de productos agrícolas, promover el incremento de áreas sembradas y mejorar la productividad (Evaluaciones Agropecuarias Municipales [EVA], 2023).

A nivel nacional, se tiene una macro división de regiones en función de múltiples parámetros tanto ambientales como geopolíticos (figura 4.1).

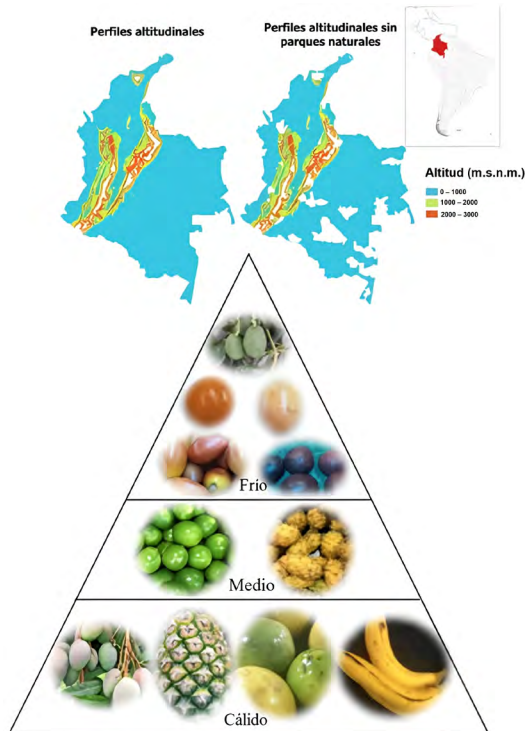
Figura 4.1. Participación y principales frutas tropicales producidas en las eco-regiones de Colombia



Fuente: Elaboración propia con datos tomados de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural/Evaluaciones Agropecuarias Municipales (2021), para las líneas productivas sujetas de recaudo 2020. Proyecciones Unidad Técnica para 2021.

En este sentido, y con base en la vocación productiva a nivel agrícola, la región Andina se destaca como la de mayor producción frutícola del país, alcanzando las 5 900 000 toneladas con una amplia variedad de oferta de frutas; seguido de las regiones Caribe, Pacífica, Orinoquia y Amazónica, respectivamente (EVA, 2023) (figura 4.1). A partir de la información recopilada por las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en la figura 4.1 se reporta el comportamiento del área sembrada de las principales frutas que se producen en el país, según las regiones eco-geográficas, para consumo interno y como un renglón de importancia en la generación de divisas.

Figura 4.2. Perfil altitudinal de macrorregiones con potencial de producción agrícola en Colombia. (a) zona cálida: 0-1000 m; (b) zona media: 1001-2000 m, y (c) zona fría: 2001-3000 m



Fuente: Elaboración a partir de un mapa de elevación digital con una resolución de 30 m descargado de EARTHDATA-Open Access For Open Science (<https://www.earthdata.nasa.gov/>) y para determinar áreas con potencial agrícola se eliminaron las zonas de parques y zonas de reserva natural, centros poblados, área hidrográfica, e infraestructura vial obtenidas de la información geográfica de datos abiertos del mismo (<http://www.ideam.gov.co/capas-geo>).

En términos generales, y con algunas restricciones asociadas a zonas de reserva natural, centros poblados, área hidrográfica e infraestructura vial, entre otras, la frontera agrícola de Colombia se ubica entre los 0 y los 3 000 msnm, con algunas excepciones en distintos departamentos (Nariño, Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, entre otros), donde se puede realizar agricultura de forma sostenible por encima de los 3 000 msnm sin afectar las zonas de páramos y reservas naturales. Así, una agrupación macro en este perfil geográfico da lugar a tres zonas altitudinales con una amplia diferenciación climática: (a) zona cálida, de 0 a 1 000 m; (b) zona media, de 1 001 a 2 000 m; y (c) zona fría, de 2 001 a 3 000 (figura 4.2). En estas macrorregiones se puede encontrar una amplia diversidad de especies frutícolas con un alto potencial en su producción para consumo local y para exportación. En la figura 4.1 se reportan las frutas de mayor relevancia por área sembrada, producción e importancia económica.

La producción frutícola en Colombia participa con 17 % del total de la producción agrícola nacional, ubicando al subsector como uno de los más relevantes y de mayor crecimiento en el agro colombiano (Procolombia, 2022). Las líneas de producción frutícola que han presentado la mayor participación en los últimos años son: banano y plátano (44 %), cítricos (10 %), aguacate (8 %), piña (4 %), mango (3 %), pasifloras (2 %), entre otros (Sociedad de Agricultores de Colombia [SAC], 2021). Estos productos concentran 71 % del total de la cosecha del subsector (figura 4.2).

En las zonas agrícolas de los trópicos se observa una gran amenaza para los sistemas frutícolas que se asocia a la variabilidad climática, relacionada especialmente a los fenómenos de El Niño-Oscilación del Sur-ENSO (La Niña y El Niño) (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], 2022). Adicionalmente, se encuentra el potencial efecto del cambio climático (CC), donde se espera un mayor impacto negativo por incrementos en la temperatura y variaciones en la precipitación, que en muchos casos es más reducida y con proyecciones más devastadoras a nivel tropical (Yohannes, 2015).

Los cambios en la precipitación y temperatura asociados a los fenómenos de variabilidad y cambio climático pueden presentar una alta influencia en la agricultura, alterando múltiples procesos con implicaciones en toda la cadena de valor de la producción de alimentos (Kurukulasuriya y Rosenthal,

2013). Con base en lo anterior, y dado el alto potencial en área, crecimiento, producción e importancia de los frutales en Colombia, en el presente capítulo se exporá en cuatro apartados lo siguiente: (a) área sembrada, producción y rendimiento de las principales frutas producidas en Colombia cuya finalidad es la exportación; (b) dinámica temporal de los fenómenos ENSO (La Niña y El Niño) en Colombia; (c) potencial efecto de los fenómenos ENSO sobre la fruticultura en Colombia; y (d) herramientas de mitigación y adaptación a los ENSO en la fruticultura.

El objetivo principal del presente trabajo es mostrar una aproximación macro de los fenómenos ENSO bajo condiciones tropicales y cómo afectan a los sistemas de producción frutícola con mayor dinamismo en Colombia por su potencial comercial, como en el caso de los frutales de exportación, y presentar elementos básicos asociados a estrategias de adaptación y mitigación de los efectos adversos promovidos por el fenómeno ENSO. Dentro de estos sistemas se seleccionaron aquellos relacionados con la producción de aguacate (*Persea americana* Mill, cultivar Hass), banano (*Musa acuminata* Colla × *Musa balbisiana* Colla cultivar Cavendish, clones Valery, Gran Enano y Williams), mango (*Mangifera Indica* L. cultivar Kent, Keitt, Tommy Atkins, y criollo: azúcar), cítricos lima Tahití (*Citrus* × *latifolia*), piñas (*Ananas comosus* L. cultivar Cayena Lisa, Perolera, Manzana, y Gold MD2.), uchuva (*Physalis peruviana* L.), tomate de árbol (*Solanum betaceum* L.), granadilla (*Passiflora ligularis* f. *lobata* [Mast.] Killip), gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims), maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.), y pitahaya (Haw. Britton & Ros) (figura 4.2).

Área sembrada, producción y rendimiento de las principales frutas con potencial de exportación en Colombia

Una de las múltiples causas asociadas a la gran variedad de condiciones edafoclimáticas en las condiciones tropicales, y específicamente en Colombia, es la presencia de un perfil altitudinal que cubre desde los 0 hasta los 5 776 m de elevación. Tal característica hace que en este rango de alturas se presente la congruencia de factores locales, regionales y continentales que alteran y condicionan las variables de clima como lo son la temperatura, la

precipitación, la radiación, la humedad relativa, la presión atmosférica, la velocidad del viento, entre otras. Igualmente, a nivel edáfico, las variaciones se dan como una congruencia entre el clima y los factores formadores de suelo, esto es, material parental, relieve y biota existente. Esta multiplicidad de factores y condiciones hacen de Colombia un país megadiverso, lo que incluye una extensa variedad de especies de frutas silvestres y domesticadas con alto potencial para la alimentación humana y potencial comercial (Gori et al., 2022).

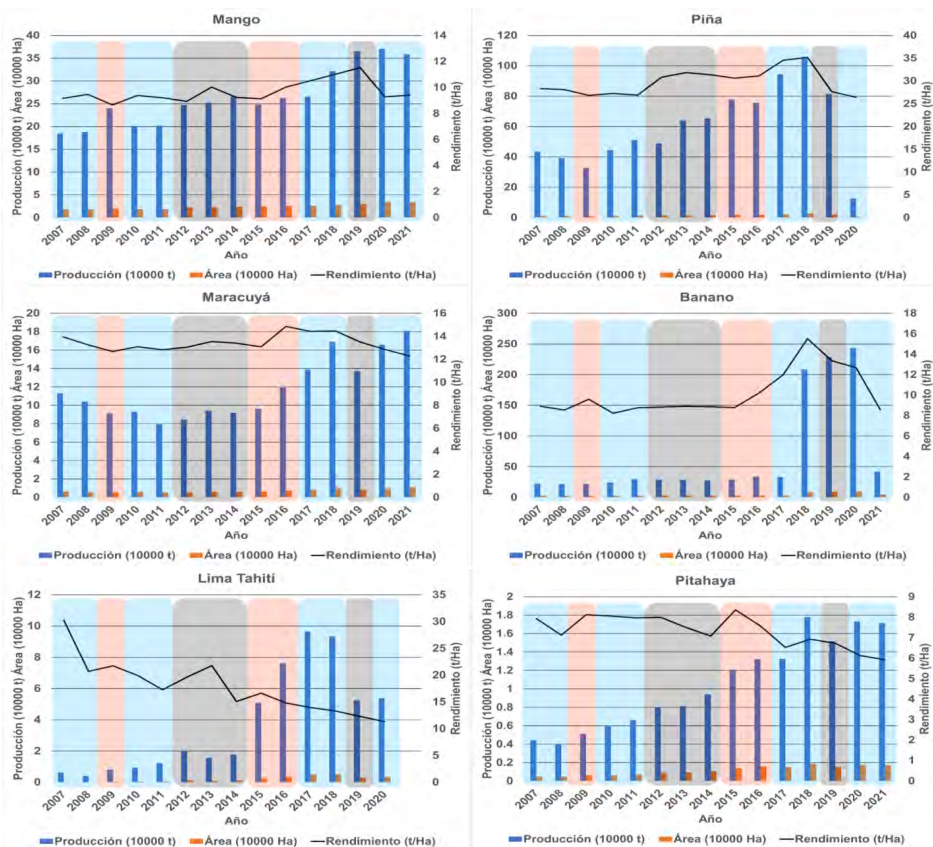
Debido a estas características, Colombia se ha convertido en uno de los países más dinámicos a nivel mundial en cuanto a su perfil y diversidad exportadora de frutas tropicales como el banano, el aguacate, el limón, la piña, el mango, entre otras; además se producen frutas exóticas, dentro de las cuales se destacan la uchuva, la gulupa, la pitahaya, la granadilla, el feijoa y el tomate de árbol; estas frutas presentan gran aceptación en el mercado internacional. Actualmente, Colombia es el principal exportador de frutas exóticas en América, el segundo exportador de banano, el cuarto de aguacate y el sexto de limón en el continente (Procolombia, 2022). Es también el segundo mayor exportador de frutas a la Unión Europea. Los productos más relevantes a nivel de exportación en volumen son los bananos-plátanos (38 %, con 147 500 t), aguacate (21 %, con 83 500 t), lima Tahití (8 %, con 32 500 t), naranjas frescas o secas (7 %, 25 200 t), y otras frutas tropicales y exóticas como la pasifloras, la uchuva, la pitahaya, los berries, entre otras (6 %, con 22 400 t) (SAC, 2021).

El país cuenta con una serie de ventajas competitivas que respaldan la expansión y el crecimiento de sus exportaciones (Procolombia, 2022); dentro de ellas se pueden enunciar como las de mayor relevancia las siguientes: (a) la diversidad de climas y suelos; (b) la capacidad productiva del sector agropecuario por presentar áreas con potencial de siembra; y (c) el cumplimiento de exigencias en la calidad del producto. En los últimos 5 años, el sector hortofrutícola ha registrado un crecimiento anual continuo de 19 % (Procolombia, 2022) (gráficas 4.1 y 4.2).

En términos generales, los volúmenes exportados de frutas que se enuncian en la gráfica 4.1 han presentado dos tendencias del 2007 al 2021 (último año con datos disponibles; véanse las gráficas 4.1 y 4.2). Por un lado, están aquellos de comportamiento estable, como el tomate de árbol, la gra-

nadilla, la uchuva, el mango y la piña, los cuales han presentado valores medios similares de área sembrada y toneladas producidas durante el tiempo evaluado. En estos periodos se destacan leves incrementos en volúmenes totales, posiblemente asociado a mejores prácticas agronómicas, la selección de nichos edafoclimáticos específicos donde se maximiza la cantidad de producción, y, por supuesto, como una consecuencia directa del aumento del área plantada (gráficas 4.1 y 4.2).

Gráfica 4.1. Dinámica de área sembrada, producción, rendimiento y efecto macro del ENSO en frutales de importancia para la exportación en Colombia plantados bajo clima cálido

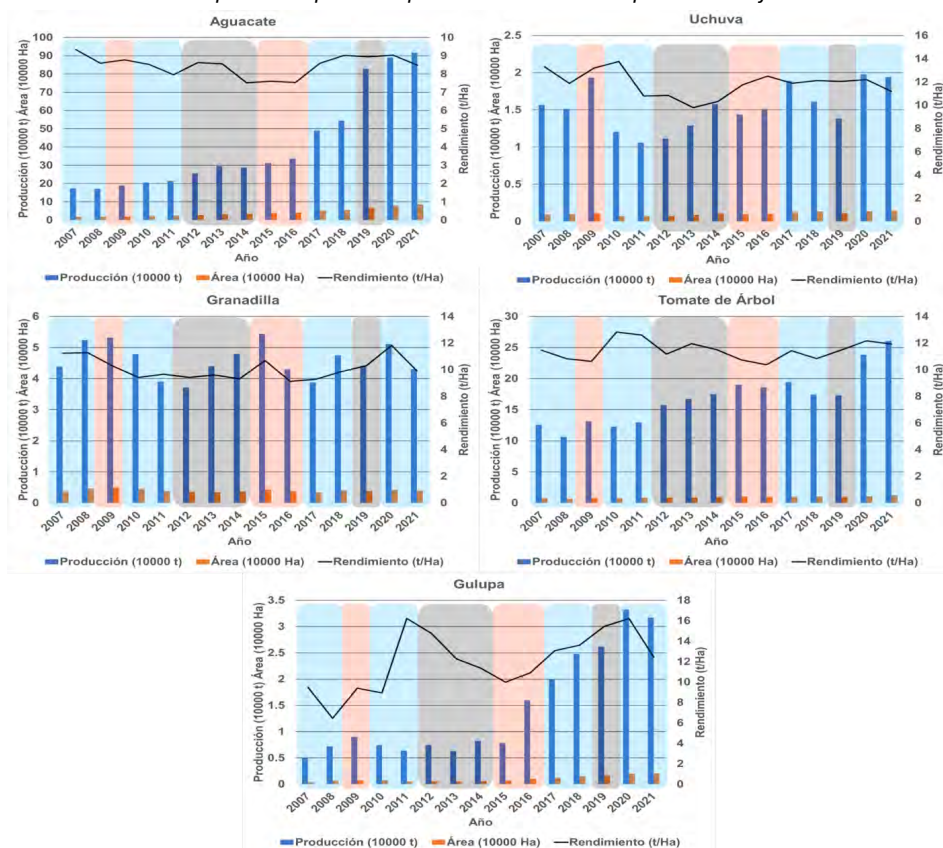


Nota: El área negra representa la variación natural del clima asociado a condiciones intra-anales y fenómenos micro-climáticos de Colombia. Áreas rojas: Fenómeno ENSO-El Niño. Áreas azules: Fenómeno ENSO-La Niña.

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo grupo se encuentran las frutas cuya importancia en área sembrada y volúmenes de producción han presentado un fuerte crecimiento en los últimos 5 años; dentro de estas se destacan el maracuyá, los bananos, la lima Tahití, la pitahaya, el aguacate, y la gulupa (gráficas 4.1 y 4.2). Un caso particular que demuestra la importancia del crecimiento del sector frutícola es el del aguacate cultivar Hass de origen colombiano, que en un periodo de 10 años (2010-2020) se posicionó a nivel mundial y continúa ocupando los primeros lugares en las exportaciones del país.

Gráfica 4.2. Dinámica de área sembrada, producción, rendimiento y efecto macro del ENSO en frutales de importancia para la exportación en Colombia plantados bajo clima frío



Nota: El área negra representa la variación natural del clima asociado a condiciones intra-anales, y fenómenos micro-climáticos de Colombia. Áreas rojas: Fenómeno ENSO-EI Niño. Áreas azules: Fenómeno ENSO-La Niña.

Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2021, el aguacate tuvo un crecimiento de 41 % en términos de valor, y de 27 % en términos de volumen (Procolombia, 2022). Los productores de aguacate han entendido las necesidades de trazabilidad e inocuidad que exigen las ventanas comerciales con el fin de cumplir protocolos de admisibilidad de los diferentes destinos. Así mismo, el país ha apostado por posicionarse cada vez con más fuerza en diferentes mercados, no sólo ocupando nichos de mercado altamente competitivo como el europeo, sino que ha visto como potenciales los mercados asiáticos, el norteamericano, el sur del continente americano y el medio oriente (Procolombia, 2022) (véase gráfica 4.2).

Para todos los sistemas de producción frutícola analizados (gráficas 4.1 y 4.2) se encontró a nivel macro poco o nulo aumento en los rendimientos a través del tiempo. Por el contrario, esta variante ha presentado una gran variabilidad altamente influenciada por los años en los cuales se ha producido algún fenómeno de fluctuación climática interanual asociado al ENSO (La Niña y El Niño). En apartados posteriores se realizará una descripción general del comportamiento específico de este fenómeno y su impacto en la fruticultura tropical, caso Colombia.

Dinámica temporal de los fenómenos ENSO (La Niña y El Niño) en Colombia

Los eventos climáticos denominados El Niño y La Niña se asocian a los niveles de temperatura de la superficie del mar (TSM, por sus siglas en inglés) en el Pacífico tropical, que suelen ser más cálidas y frías que las medias históricas respectivamente (McPhaden et al., 2006). Estos dos eventos climáticos se conocen como El Niño-Oscilación del Sur-ENSO asociados a las interacciones acopladas atmósfera-océano que en casi su totalidad se vincula a la base del Pacífico (NOAA, 2022). Bajo las condiciones climáticas de ENSO, la precipitación y la temperatura presentan una relación inversa; puesto que, mientras que El Niño se asocia, por un lado, a la sequía en la Amazonía y el noreste sudamericano, y las inundaciones en la costa occidental tropical y el sureste de Sudamérica; por su parte, La Niña actúa en un sentido inverso (Cai et al., 2020).

Para este caso particular, y con las series de tiempo de datos existentes de producción, área sembrada y rendimiento de los principales frutales tropicales con potenciales de exportación (figura 4.2) y anomalías reportadas durante ENSO (La Niña y El Niño) (NOAA, 2022), analizamos la dinámica de este fenómeno en la serie de tiempo entre el 2007 y el 2021 (gráfica 4.3). A partir de la información que se observa en la gráfica 4.3 se puede observar que la condición de variabilidad climática en Colombia es una constante, lo que indica la necesidad de desarrollar estrategias de adaptación y mitigación para la búsqueda de sistemas agrícolas sostenibles y resilientes a este tipo de fenómenos, en especial el subsector frutícola.

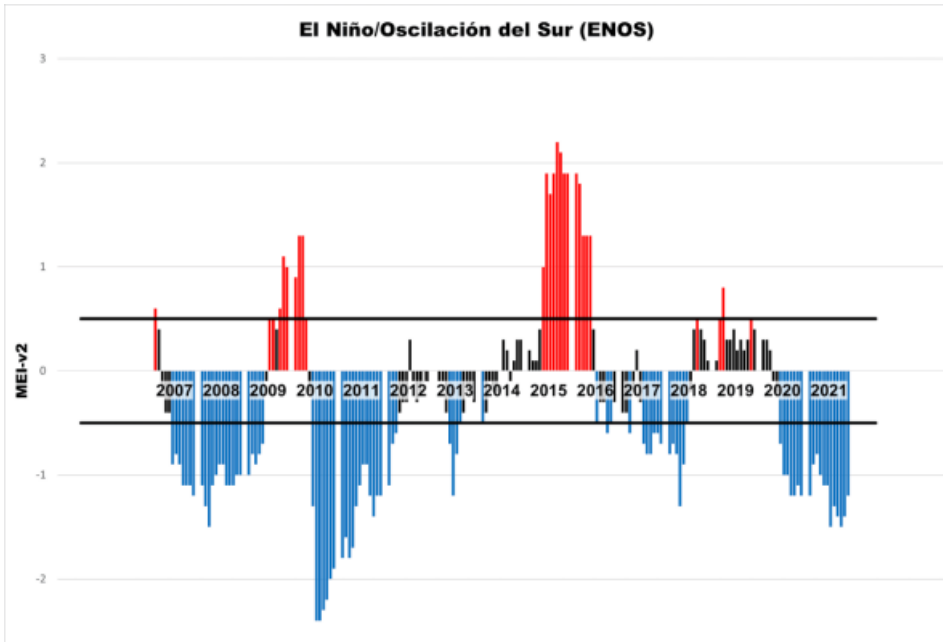
En Colombia, entre el 2007 y el 2021 se reportaron anomalías climáticas asociadas a ENOS, las cuales presentaron cinco periodos marcados del fenómeno de La Niña, alternados con tres del fenómeno de El Niño, y varios ciclos de variabilidad climática interanual con algunos meses atípicos con temporadas húmedas o secas en comparación con los promedios multianuales (gráfica 4.3).

Durante junio del 2007 y marzo del 2012 se presentaron dos temporadas marcadas por La Niña, separadas por un evento de El Niño entre julio del 2009 y abril del 2010. En este periodo se presentó un Niño débil. Por su parte, los eventos de La Niña durante este periodo (del 2007 al 2009) se catalogaron como fuertes; no obstante, los presentados entre mayo del 2010 y marzo del 2012 fueron fuertes y de mayor intensidad (Cai et al., 2020). Bajo estos escenarios, se incrementaron las precipitaciones en las regiones de Sudamérica (Cai et al., 2020), con grandes implicaciones en los sectores productivos, incluyendo la agricultura y el subsector frutícola, como se observan en las gráficas 4.1, 4.2 y 4.3.

Posterior al año 2012, y hasta el primer trimestre del 2015, se presentaron variaciones climáticas dentro de los límites esperados, con algunas excepciones entre los meses de mayo y agosto del 2013 y enero del 2014, donde el clima mostró una tendencia mayor al fenómeno de La Niña (gráfica 4.3). Posteriormente, y a partir de la primera parte del 2015 volvieron a aparecer condiciones del fenómeno de El Niño, hasta la primera mitad del 2016, siendo este El Niño de mayor magnitud en el periodo de tiempo analizado, llegando incluso a considerarse el tercer fenómeno de El Niño más fuerte del que se tienen registro a nivel mundial (NOAA, 2022).

Por último, desde la segunda mitad del 2016 y hasta el 2021 se presentaron condiciones de La Niña en el país separadas por un periodo comprendido entre el segundo semestre del año 2017 y hasta finales del 2018. Posteriormente, entre el segundo semestre del 2018 y comienzos del 2020, las condiciones del clima fueron caracterizadas como “dentro de las normales climatológicas”, con meses atípicos asociados a fenómenos de El Niño en septiembre del 2018, febrero, marzo y noviembre del 2019; mientras que los años 2020 y 2021 se asociaron a La Niña (gráfica 4.3).

Gráfica 4.3. Dinámica e intensidad de fenómenos de variabilidad climática asociadas a ENSO (La Niña y El Niño) en Colombia



Nota: Las líneas negras horizontales representan la variación natural del clima asociado a condiciones intra-anales y fenómenos micro-climáticos de Colombia. Barras negras: condición de clima natural. Barras rojas: Fenómenos ENSO-El Niño. Barras azules: fenómenos ENSO-La Niña.

MEIv2: índice Multivariado del Ciclo El Niño-Oscilación del Sur, basado en: (a) presión del nivel del mar, (b) temperatura superficial del mar, (c) componente zonal de viento (este-oeste), (d) componente meridional del viento (norte-sur), y (v) radiación de onda larga (Zhang et al., 2019). Los datos del MEIv2 fueron obtenidos de la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés). Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés). <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>

Fuente: Elaboración propia.

Potencial efecto de los fenómenos ENSO (La Niña y El Niño) sobre la fruticultura en Colombia

Para las regiones agrícolas, una de las anomalías climáticas de mayor impacto económico está relacionada con el ENSO (La Niña y El Niño) (Botero y Barnes, 2022). EL ENSO, en cualquiera de sus fases, ya sea La Niña o El Niño, afecta de forma directa los sistemas agrícolas en parámetros de productividad como lo es el de rendimiento (Botero y Barnes, 2022; Wang et al., 2020); variable ésta que se puede observar claramente de forma macro en las gráficas 4.1 y 4.2 para los frutales de mayor potencial de exportación en Colombia, donde se observan las reducciones de producción especialmente bajo fenómenos ENSO-La Niña. También se sugiere un alto impacto en parámetros de calidad en diferentes frutas de origen tropical (Ramírez-Gil et al., 2020).

Por su parte, como consecuencias indirectas se considera que el ENSO (La Niña y El Niño) afecta múltiples partes dentro de la cadena de valor, como su relación con incrementos en la incidencia de plagas y enfermedades, reducción de la calidad en poscosecha, aumentos en los costos de insumos y precios del producto final, y afectación en infraestructura, entre otros (Botero y Barnes, 2022).

Las cifras a nivel mundial sugieren que el fenómeno ENSO puede provocar pérdidas en el rendimiento de los principales cultivos cercanos en 10 % (Lunt et al., 2016). Específicamente para el sector agro en Colombia, se reporta que los fenómenos ENOS han dejado cuantiosas pérdidas. En este sentido, la ola invernal del 2010 al 2012 generó inundaciones en aproximadamente 3 500 000 hectáreas, con daños cuantificados en más de \$11 100 millones de pesos colombianos (COP). Por su parte, el fenómeno de El Niño que se presentó durante los años 2014 al 2016, presentó afectaciones agrícolas por los déficits hídricos generados y tuvo un impacto potencial sobre la productividad, reportando un incremento en costos por la necesidad de uso de riego, entre otros muchos efectos negativos (Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres [UNGRD], 2016).

Para el caso específico de nuestro enfoque, y en función de los sistemas agrícolas seleccionados (gráficas 4.1 y 4.2), desde una aproximación macro

se puede identificar de forma visual la relación directa entre las variaciones en el rendimiento y la ocurrencia de distintas fases del fenómeno ENSO durante la serie de tiempo 2007-2021. Las variaciones y el efecto diferencial específico sobre la variable rendimiento se podrían asociar a que se presenten características particulares dentro de cada sistema productivo; de este modo, las variaciones son producto del el impacto diferencial que estos fenómenos climáticos regionales tienen sobre zonas agroecológicas donde se siembran estos frutales, la respuesta que la especie tenga con respecto al evento climático y los mecanismos de adaptación y mitigación que sean implementados a nivel local por los productores.

Por otra parte, este análisis regional enmascara características específicas del sistema de producción y micro-climáticas de alta influencia en una variable como el rendimiento y su posible relación con fenómenos de variabilidad climática. En términos generales, las implicaciones específicas del fenómeno ENSO (El Niño y la Niña) se deben evaluar de forma detallada en cada agroecosistema, dado que los reportes existentes plantean que estos fenómenos pueden tener un efecto positivo o negativo en sistemas agrícolas (Ramírez-Gil et al., 2020).

En este sentido, y buscando una aproximación a las relaciones entre la productividad y el ENSO, se puede observar en las gráficas 4.1 y 4.2 que el resultado a nivel macro puede ser variable en función del cultivo, la intensidad y la duración del fenómeno, así como la relación con el evento climático anterior, entre otros. Específicamente, y para un potencial escenario, se podría tener una zona seca que, dada por sus normales climatológicas, presente un balance hídrico negativo (mayor evapotranspiración que precipitación), situación que implicaría la necesidad de aplicación de riego. Si en esta área se presenta un ENSO-La Niña moderado, posiblemente se obtenga un incremento en la productividad de una especie moderadamente tolerable a los excesos de humedad como el mango, lo cual podría explicar las variaciones en las gráficas 4.1 y 4.2, donde, por ejemplo, el mango baja los rendimientos dentro de una condición de ENSO e incrementa con ENSO-La Niña, especialmente después de un ENSO-El Niño.

Mitigación y adaptación hacia los efectos negativos de los fenómenos ENSO (La Niña y el Niño) en la fruticultura en Colombia

ENSO-El Niño (sequía)

El fenómeno ENSO-El Niño genera una disminución notable en las precipitaciones con períodos secos más prolongados, pero también con aumento de la temperatura, lo que conlleva a incrementar los requerimientos de riego u otras estrategias de mitigación o adaptación. Por esto es necesario planear con anterioridad las diferentes estrategias para mitigar los impactos sobre la producción de los frutales, lo que implica el uso de una estrategia o la combinación de varias de ellas, cuya ejecución debe hacerse de manera oportuna. A continuación, se plantean diferentes estrategias comunes a varios sistemas de producción frutícola que buscan mitigar o adaptar la especie vegetal a la condición de estrés por sequía.

1. Selección de genotipos tolerantes: en zonas con alto impacto de la sequía es muy importante seleccionar frutales con adaptaciones a nivel morfológico, bioquímico y fisiológico de esta fuente de estrés. En tal caso, la elección más apropiada según la zona es sembrar especies como piña en climas cálidos o pitaya en clima medio (figura 4.2). Estas especies, bajo déficit hídrico, disminuyen su productividad, pero tienen la posibilidad de tolerar condiciones más extremas que la mayoría de los frutales, principalmente por sus cambios anatómicos y la presencia del metabolismo fotosintético de tipo CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas) que les permite ser muy eficientes con el uso del agua (Taiz et al., 2018). La gran mayoría de los frutales se propagan mediante injertación, parte del éxito de esta técnica es la utilización de patrones o portainjertos con tolerancia o resistencia a condiciones difíciles de suelos, enfermedades, clima (incluida la condición de sequía), entre otros. Está demostrado que el portainjerto induce tolerancia al déficit hídrico en varias especies, incluso generando cambios a nivel postranscripcional en la copa, como ha sido reportado para el

manzano (He et al., 2022). La obtención de portainjertos con tolerancia a la sequía sigue siendo una prioridad en especies de gran interés económico en el mundo, como los cítricos, los frutales caducifolios, los mangos y el aguacate, entre otros; esto empieza a ser una prioridad en otros frutales, como aquellos de la familia de las pasifloras (maracuyá, gulupa, granadilla, entre otras) y solanáceas (uchuva, tomate de árbol, lulo y más), donde este tipo de estrés está generando graves pérdidas económicas. Cabe aclarar que la investigación y desarrollo en portainjertos resistentes o tolerantes es aún incipiente.

2. Selección de épocas de siembra: es una importante estrategia que mitiga el impacto del déficit hídrico y se basa en los pronósticos del clima y el conocimiento de la fenología de la especie, tiene la finalidad de que las etapas fenológicas más sensibles a la sequía coincidan con las épocas de lluvia. Por ejemplo, la siembra en el caso del banano debe realizarse en función de la disponibilidad de agua, las precipitaciones, el momento adecuado para la floración y el desarrollo del racimo (Ravi y Mustaffa, 2013). Estos mismos autores mencionan que cuando no hay presencia de lluvias pueden implementar riegos con frecuencia de 15 a 20 días. Lo anterior indica también la necesidad de contar con modelos de predicción del clima armonizados con el conocimiento de las fases fenológicas del cultivo, de tal forma que se pueden identificar las fases del desarrollo menos sensibles al déficit hídrico para que coincidan con los periodos en los que se cuenta con una menor disponibilidad hídrica, buscando el menor impacto sobre la productividad y la calidad de las cosechas.
3. Sistema de riego: cualquier sistema de riego se considera una alternativa favorable para suplir los requerimientos hídricos del frutal en las épocas de sequía. Sin embargo, la baja capacidad de almacenamiento de grandes volúmenes de agua y los pocos distritos de riego existentes en las regiones frutícolas obligan a que resulte necesario disponer de sistemas de riego localizados (riego por goteo), que son más eficientes (mayor a 80 %) y presentan bajo consumo de agua y de energía, entre otras ventajas; hay que señalar, no obstante, que los costos iniciales de inversión son altos (Vélez-Sánchez et al., 2021).

4. Manejo eficiente del agua: en las últimas décadas se han evaluado e implementado diferentes técnicas enfocadas a lograr un manejo eficiente del riego, dentro de los que se destacan el riego deficitario controlado (RDC) y el riego de secado parcial de la raíz, entre otros. En el RDC se disminuye el suministro hídrico en las etapas de desarrollo menos sensibles al estrés hídrico de la planta, esto lo convierte en una estrategia que induce regulaciones fisiológicas en las plantas y también mejora el rendimiento y la calidad de los frutos (Du et al., 2015). El riego de secado parcial sólo moja una parte de la zona de la raíz en cada evento de riego, mientras que el resto se deja secar de forma controlada. Regularmente, el riego se cambia entre las diferentes partes de la zona radicular, esto permite que las señales de secado del suelo, como la hormona ABA (ácido abscísico), se transmitan de raíz a brote para regular el crecimiento y el consumo de agua (Wang et al., 2012). Esta técnica tiene la ventaja de que puede ahorrar agua, aumentar la productividad, e incluso la calidad (Iqbal et al., 2020). Sin embargo, aún falta investigar estas técnicas en detalle en los frutales del trópico.
5. Aplicación de bioestimulantes: Los bioestimulantes se clasifican en las siguientes siete categorías: ácidos húmicos / fúlvicos, algas marinas / extractos botánicos, hidrolizados de proteínas, biopolímeros, minerales benéficos, bacterias y hongos benéficos (Jardin, 2015). Los bioestimulantes pueden ser aplicados para mitigar el efecto del estrés hídrico, principalmente porque inducen respuestas fisiológicas, bioquímicas y moleculares en la planta que pueden generar tolerancia o evasión a este fenómeno. Se han aplicado bioestimulantes de diferentes fuentes a árboles frutales, vides y otros cultivos de bayas contra el estrés abiótico, incluida la sequía (Basile et al., 2020). Para Basile et al. (2020) los principales mecanismos que se mejoran son: aumento de la toma y asimilación de nutrientes por un sistema de raíces más vigoroso, aumento de la eficiencia fotosintética y las relaciones hídricas, incremento en la acumulación de osmolitos, un sistema antioxidante más eficaz, aumento en el uso eficiente del agua intrínseco, expresión diferencial de genes relacionados con detoxificación de especies reactivas de oxígeno y síntesis de osmolitos, y finalmente

poblaciones microbianas epífitas moduladas que mejoran el crecimiento de las plantas. Los bioestimulantes generan osmoprotección, y con esto disminuyen los daños que puede generar el déficit hídrico. En el mercado se pueden conseguir algunos bioestimulantes de interés como las poliaminas, silicio, melatonina, bisulfito sódico de menadiona (vitamina K3), bioestimulantes basados en extractos de algas, microorganismos y sustancias húmicas y fúlvicas (Jiménez-Arias et al., 2021).

6. Medidas para disminuir la transpiración: se recomiendan estrategias de fácil ejecución en campo: (a) eliminación de hojas basales y muy maduras de las ramas que transpiran y gastan compuestos energéticos en mayor cantidad; (b) poda de ramas improductivas del interior del árbol; y (c) raleo de frutos de baja calidad que pueden estimular la transpiración foliar. Igualmente, se debe implementar un eficiente sistema de riego y un manejo adecuado del suelo enfocado en la disminución de evaporación de agua del suelo; por ejemplo, con la siembra de coberturas vegetales o mediante la aplicación de materia orgánica o conservación de una capa de hojarasca. Dentro de otros aspectos se debe considerar el uso de una adecuada densidad de siembra durante el establecimiento de cultivos en campo, y así conocer los cultivos que requieran (cacao) o toleran (banano, plátano) un cierto grado de sombrío, lo cual puede disminuir la tasa de transpiración.

ENSO-La Niña (incrementos en precipitación)

En términos generales, y bajo el principio de que los fenómenos de variabilidad climática afectan de manera diferencial a los sistemas de producción agrícola como una función de la vulnerabilidad de la región donde se encuentra plantado el cultivo y del grado de respuesta del genotipo, se reporta que los frutales perennes no van a ser tan afectados por el cambio y la variabilidad climática comparado con los cultivos anuales y semestrales (Sthapit et al., 2012). Desde el punto de vista de las consecuencias adversas del ENSO-La Niña, éstas se expresan en incremento en la ocurrencia de los suelos saturados por anegamiento e inundaciones, aumen-

tando la incertidumbre en vista de que dichos fenómenos se han vuelto impredecibles en la temporalidad de su ocurrencia y magnitud (Zhang et al., 2021). Con el uso de predicciones del calentamiento global, especialmente para el norte de la región Andina, se reporta que aumentarán las inundaciones, al contrario de Suramérica, donde estos eventos se reducirán (Hirabayashi et al., 2013).

En Colombia, la influencia del fenómeno de ENSO-La Niña se asocia a abundantes precipitaciones en gran parte del país con un alto impacto en los sistemas agrícolas (Ramírez-Gil et al., 2020). Por ejemplo, en muchos suelos de las zonas de cultivos tropicales como el aguacate, especie altamente sensible a las condiciones de bajos contenidos de oxígeno (hipoxia-anoxia) sufren por un drenaje deficiente debido a que su fisiografía, origen y estructura física favorecen la inundación, propiciando niveles freáticos altos o el estancamiento del agua en las capas superficiales (Ramírez-Gil et al., 2021).

La inundación de los suelos es considerada como un estrés de tipo abiótico de los más perjudiciales para la producción de los cultivos por la poca disponibilidad de oxígeno (Kreuzwieser y Rennenberg, 2014). De igual manera, las temperaturas elevadas asociadas al cambio climático pueden agravar los impactos del anegamiento, incrementando la mortalidad de los frutales por la menor solubilidad de O_2 y CO_2 en aguas inundadas y calientes (Panda y Barik, 2021).

En general, la disponibilidad del O_2 para el sistema radicular de las plantas inundadas se reduce debido a que el agua contiene menos gas que el que se encuentra en la atmósfera por la altamente reducida difusión de los gases disueltos en el agua; es decir, es diez mil veces más lenta comparada con la que hay en el aire (Parent et al., 2008); lo que puede inducir a una crisis energética en los tejidos anóxicos que lleve a la posible muerte del frutal. Por la deficiencia de O_2 en suelos saturados de agua, las raíces son el primer órgano de la planta que es afectada, muriendo primero las raíces finas y fibrosas (Fischer y Orduz, 2012). Además, por las condiciones anaeróbicas del suelo se incrementan las incidencias por fitotoxicidad debido a la creciente acumulación de iones reducidos y de productos de organismos anaeróbicos, por lo que se limitan los microorganismos edáficos aeróbicos y se incrementa la aparición de patógenos del suelo (Ramírez-Gil et al., 2021). En general, para los frutales leñosos un nivel freático de 1.5 m es el

más recomendado en muchos cultivos (Fischer y Orduz, 2012). Debido a que los procesos fisiológicos de las raíces como la absorción de nutrientes y agua, la síntesis de citoquininas y giberelinas están altamente afectados por condiciones de hipoxia y anoxia, ahí es donde ocurre un cierre estomático (Taiz et al., 2018). Igualmente, se presenta una disminución de la transpiración, lo que conlleva el marchitamiento y senescencia prematura de las hojas (Restrepo-Díaz y Sánchez-Reinoso, 2020). Estas situaciones causan una reducción de la conductancia estomática, fotosíntesis, crecimiento del tallo y foliar, y de la producción del frutal en general.

Diferentes mecanismos de adaptación y tolerancia permiten a las plantas desarrollar cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos para superar la deficiencia de oxígeno. En este sentido, se destacan la aclimatación metabólica y las redes de señalización, lo que posibilita a las plantas resistir o escapar de entornos con bajo oxígeno que perturban su crecimiento y metabolismo (Xie et al., 2021). Generalmente, las especies que son más tolerantes al anegamiento se adaptan a través de la fermentación en las partes inundadas para continuar con su estado energético (Parent et al., 2008). Así mismo, a corto plazo la planta puede incrementar la cantidad de enzimas antioxidantes como respuesta al aumento de ROS, lo que proporciona un criterio para la tolerancia al estrés por anegamiento (Pérez-Jiménez y Pérez-Tornero, 2021).

Dentro de los cambios morfológicos se presenta la formación de aerénquima para resistir los periodos largos de inundación (Pérez-Jiménez y Pérez-Tornero, 2021), que, inducida por el anegamiento, comprende espacios intercelulares e interconectados propiciados por la muerte programada de las células corticales que puede incrementar el intercambio gaseoso con la parte aérea de la planta (Rankenberg et al., 2021); así, de esta manera, se promueve el ajuste a las condiciones hipóxicas. Otra adaptación morfológica para mejorar la tolerancia al anegamiento es la inducción de raíces adventicias que por su formación de aerénquima facilitan la difusión de O₂ suministrado por las partes aéreas de la planta (Jackson y Colmer, 2005).

En cuanto al mango, se reporta que varios genotipos reaccionan al anegamiento con la formación de lenticelas hipertrofiadas que contribuyen a la difusión de oxígeno (Schaffer et al., 2009) y, al mismo tiempo, sirven para liberar sustancias tóxicas como resultantes del metabolismo anaeróbico

(Parent et al., 2008). Otra posibilidad de reducir el estrés por hipoxia es la selección de patrones más tolerantes, como es el caso de los cítricos, dentro de los cuales *C. macrophylla* tolera mejor el anegamiento que ‘Cleopatra’ (Pérez-Jiménez y Pérez-Tornero, 2021); conducta que también se ha observado en aguacate con el patrón ‘Dusa TM’, que es más tolerante al anegamiento que ‘Duke 7’ (Reeksting et al., 2014), y en genotipos de la raza guatemalteca evaluados bajo las condiciones tropicales en Colombia (Ramírez-Gil et al., 2020). Por otra parte, una poda de las ramas terminado el anegamiento contribuye al restablecimiento del equilibrio en la relación tallo / raíz, sobre todo en frutales con raíces lesionadas. Se encontró que los aguacates podados se recuperaron más rápidamente del estrés hipóxico que los no podados (Sanclemente et al., 2014).

Una forma para reducir el estrés es mejorar el potencial *redox* de un suelo inundado aplicando “fertilizantes de oxígeno sólidos” como el CaO_2 o el MgO_2 , con un efecto sobre el crecimiento (área foliar y peso seco total) de plantas de papaya anegadas (Thani et al., 2016). También, la tolerancia al anegamiento puede ser promovida por la colonización micorrícica de las raíces y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Glick et al., 2007).

Referencias

- Basile, B., Roupshael, Y., Colla, G., Soppelsa, S., y Andreotti, C. (2020). Appraisal of emerging crop management opportunities in fruit trees, grapevines and berry crops facilitated by the application of biostimulants. *Scientia Horticulturae*, 267.
- Botero, H., y Barnes, A. P. (2022). The effect of ENSO on common bean production in Colombia: a time series approach. *Food Security*, 14, 1417-1430.
- Cáceres-Zambrano, J., Ramírez-Gil, J. G., y Barrios, D. (2022). Validating Technologies and Evaluating the Technological Level in Avocado Production Systems: A Value Chain Approach. *Agronomy*, 12.
- Cai, W., McPhaden, M. J., Grimm, A. M., Rodrigues, R. R., Taschetto, A. S., Garreaud, R. D., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y.-G., Santoso, A., Ng, B., Anderson, W., Wang, G., Geng, T., Jo, H.-S., Marengo, J. A., Alves, L. M., Osman, M., Li, S.,... Vera, C. (2020). Climate impacts of the El Niño-Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 215-231.
- Du, T., Kang, S., Zhang, J., y Davies, W. J. (2015). Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. *Journal of Experimental Botany*, 66(8), 2253-2269.

- Evaluaciones Agropecuarias Municipales (2023). *Datos Abiertos*. Instituto Nacional de Meteorología de Colombia. EVA.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023). *FAOSTAT: Food and agriculture data*. FAO.
- Fischer, G., y Orduz, J. (2012). Ecofisiología en frutales. En *Manual Para El Cultivo de Frutales En El Trópico* (pp. 54-72). Produmedios.
- Glick, B. R., Todorovic, B., Czarny, J., Cheng, Z., Duan, J., y McConkey, B. (2007). Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26, 227-242.
- Gori, B., Ulian, T., Bernal, H. Y., y Diazgranados, M. (2022). Understanding the diversity and biogeography of Colombian edible plants. *Scientific Reports*, 12, 7835.
- He, J., Guo, J., Jiang, L., An, W., Ma, F., Guan, Q., y Niu, C. (2022). Transcriptional Effects of Rootstock on Scion after Drought: A Case Study of Using MdGH3 RNAi as the Rootstock. *Horticulturae*, 8, 1212.
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., y Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Clim Change*, 3, 816-821.
- Iqbal, R., Raza, M. A. S., Toleikiene, M., Ayaz, M., Hashemi, F., Habib-ur-Rahman, M., Zaheer, M. S., Ahmad, S., Riaz, U., Ali, M., Aslam, M. U., y Haider, I. (2020). Partial root-zone drying (PRD), its effects and agricultural significance: a review. *Bulletin of the National Research Centre*, 44, 159.
- Jackson, M. B., y Colmer, T. D. (2005). Response and Adaptation by Plants to Flooding Stress. *Annals of Botany*, 96, 501-505.
- Jardin, P. du (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14.
- Jiménez-Arias, D., García-Machado, F. J., Morales-Sierra, S., García-García, A. L., Herrera, A. J., Valdés, F., Luis, J. C., y Borges, A. A. (2021). A Beginner's Guide to Osmoprotection by Biostimulants. *Plants*, 10(2).
- Kreuzwieser, J., y Rennenberg, H. (2014). Molecular and physiological responses of trees to waterlogging stress. *Plant, Cell & Environment*, 37, 2245-2259.
- Kurukulasuriya, P., y Rosenthal, S. (2013). *Climate Change and Agriculture : A Review of Impacts and Adaptations*. World Bank.
- Lunt, T., Jones, A. W., Mulhern, W. S., Lezaks, D. P. M., y Jahn, M. M. (2016). Vulnerabilities to agricultural production shocks: An extreme, plausible scenario for assessment of risk for the insurance sector. *Climate Risk Management*, 13, 1-9.
- Nguyen, T.-D., Nguyen-Quang, T., Venkatadri, U., Diallo, C., y Adams, M. (2021). Mathematical Programming Models for Fresh Fruit Supply Chain Optimization: A Review of the Literature and Emerging Trends. *AgriEngineering*, 3, 519-541.
- National Oceanic and Atmospheric Administration / Climate Prediction Center (2022). *Climate Prediction Center-ENSO*. NOAA / CPC.
- Panda, D., y Barik, J. (2021). Flooding Tolerance in Rice: Focus on Mechanisms and Approaches. *Rice Science*, 28, 43-57.

- Parent, C., Nicolas, C., Audrey, B., Crevècoeur, M., y Dat, J. (2008). An overview of plant responses to soil waterlogging. *Plant stress*, 20.
- Pérez-Jiménez, M., y Pérez-Tornero, O. (2021). Short-Term Waterlogging in Citrus Rootstocks. *Plants*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/plants10122772>
- Procolombia. (2022). *Cadena de Agroalimentos 2021*. Procolombia.
- Ramírez-Gil, J. G., Castañeda-Sánchez, D., y Morales-Osorio, J. G. (2021). Edaphic factors associated with the development of avocado wilt complex and implementation of a GIS tool for risk visualization. *Scientia Horticulturae*, 288.
- Ramírez-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*, 9(6).
- Rankenberg, T., Geldhof, B., Veen, H. van, Holsteens, K., Van de Poel, B., y Sasidharan, R. (2021). Age-Dependent Abiotic Stress Resilience in Plants. *Trends in Plant Science*, 26(7), 692-705. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.12.016>
- Ravi, I., y Mustaffa, M. M. (2013). Impact, Adaptation and Mitigation Strategies for Climate Resilient Banana Production. En H. C. P. Singh, N. K. S. Rao y K. S. Shivashankar (Eds.), *Climate-Resilient Horticulture: Adaptation and Mitigation Strategies* (45-52). Springer. https://doi.org/10.1007/978-81-322-0974-4_5
- Reeksting, B. J., Taylor, N. J., y Berg, N. van den (2014). Flooding and Phytophthora cinnamomi: Effects on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in shoots of non-grafted Persea americana (Mill.) rootstocks differing in tolerance to Phytophthora root rot. *South African Journal of Botany*, 95, 40-53.
- Restrepo-Díaz, H., y Sánchez-Reinoso, A. D. (2020). Chapter 5: Ecophysiology of fruit crops: A glance at its impact on fruit crop productivity. En A. K. Srivastava y C. Hu (Eds.), *Fruit Crops* (59-66). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00005-8>
- Sociedad de Agricultores de Colombia (2021). Así es la hortofruticultura nacional. *Sociedad de Agricultores de Colombia-Revista Nacional de Agricultura*, 1018, 1-10.
- Sanclémente, M. A., Schaffer, B., Gil, P. M., Vargas, A. I., y Davies, F. S. (2014). Pruning after flooding hastens recovery of flood-stressed avocado (*Persea americana* Mill.) trees. *Scientia Horticulturae*, 169, 27-35.
- Schaffer, B., Urban, L., Lu, P., y Whiley, A. W. (2009). Ecophysiology. En *The mango: botany, production and uses* (170-209). CAB International.
- Sthapit, B. R., Ramanatha Rao, V., Sthapit, S.R., y International, B. (2012). *Tropical fruit tree species and climate change*. Bioversity International.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., y Murphy, A. (2018). *Fundamentals of Plant Physiology*. Sinauer Associates.
- Thani, Q. A., Vargas, A. I., Schaffer, B., GuoDong, L., y Crane, J. H. (2016). Responses of papaya plants in a potting medium in containers to flooding and solid oxygen fertilization. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 129, 27-34.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2016). *Fenómeno El Niño. Análisis comparativo 1997-1998 // 2014-2016*. UNGRD.

- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2018). Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a nivel nacional. UPRA.
- Vélez-Sánchez, J. E., Balaguera-López, H. E., y Alvarez-Herrera, J. G. (2021). Effect of regulated deficit irrigation (RDI) on the production and quality of pear Triunfo de Viena variety under tropical conditions. *Scientia Horticulturae*, 278.
- Wang, B., Feng, P., Waters, C., Cleverly, J., Liu, D. L., y Yu, Q. (2020). Quantifying the impacts of pre-occurred ENSO signals on wheat yield variation using machine learning in Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291.
- Wang, Z., Liu, F., Kang, S., y Jensen, C. R. (2012). Alternate partial root-zone drying irrigation improves nitrogen nutrition in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 75, 36-40.
- Xie, L.-J., Zhou, Y., Chen, Q.-F., y Xiao, S. (2021). New insights into the role of lipids in plant hypoxia responses. *Progress in Lipid Research*, 81.
- Yohannes, H. (2015). A Review on Relationship between Climate Change and Agriculture. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 07(2).
- Zhang, T., Hoell, A., Perlwitz, J., Eischeid, J., Murray, D., Hoerling, M., y Hamill, T. M. (2019). Towards Probabilistic Multivariate ENSO Monitoring. *Geophysical Research Letters*, 46, 10532-10540.

5. Producción de frutales y variabilidad climática en México



JORGE ANDRÉS AGUSTÍN*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.05>

Resumen

Es necesario identificar tecnologías para reorientar la fruticultura hacia sistemas de manejo más sustentables, de modo que se evite la degradación acelerada de los recursos naturales primarios. La clasificación de sistemas frutícolas es compleja, pues se pueden usar diferentes criterios para agruparlos según el interés, experiencias y finalidades. Existen sistemas frutícolas tradicionales, sistemas convencionales o sistemas modernos de producción frutícolas, y sistemas de producción frutícola agroecológicos. La fruticultura orgánica contempla tener un sistema orientado a la producción de frutos orgánicos de alta calidad nutritiva en el que el cultivo interactúe con los ciclos naturales de todo organismo vivo de una forma constructiva que proteja la vida; que respete los ciclos biológicos; se promueva el mejoramiento de la fertilidad del suelo promoviendo la remineralización de los campos de cultivo, su desintoxicación, el incremento de la microflora y microfauna en su hábita, y el consumo responsable del agua; y se realice el control de hierbas, plagas y enfermedades sin el empleo de insumos de síntesis químico industrial. De este modo, para desarrollar una fruticultura agroecológica, conviene revalorar y adoptar algunas prácticas y conocimientos de la fruticultura tradicional, tales como el uso de abonos, compostas,

* Doctor en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6735-1214>

extractos vegetales para la nutrición, así como el control de plagas y enfermedades.

Palabras clave: *sistemas frutícolas, cambio climático, México.*

Introducción

Dentro de la producción agropecuaria de México, la fruticultura es una de las actividades más importantes por su rentabilidad económica, así como por la cantidad de empleos que genera en el medio rural, la superficie cultivada, la variedad de frutos de alto valor alimenticio y la existencia de una amplia diversidad de especies introducidas y nativas de las que se obtiene una gran gama de frutos tropicales, subtropicales y de clima templado, bajo diferentes sistemas de producción hortofrutícolas. Según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (Sagarpa/Siacon, 2013), la superficie cosechada con frutales representa 6.44 % del territorio nacional, y el valor de su producción 20.67 % del total de la producción del país, lo que significa que cada hectárea cultivada con frutales fue tres veces más rentable que el promedio del resto de los cultivos; cabe destacar que, como actividad económica, la fruticultura participa de manera importante en el producto interno bruto (PIB), generando gran cantidad de empleos, además de alimentos altamente nutritivos para la población nacional e internacional, puesto que varios productos hortofrutícolas son de exportación, lo que genera divisas para el país.

Cabe señalar que para la fruticultura se destina una superficie de más de 1 000 000 de hectáreas de las mejores tierras y se produce gran cantidad de especies de frutas bajo diferentes sistemas de producción acorde a las condiciones ambientales, sociales (culturales) y económicas de las regiones del país. Es importante conocer los distintos sistemas de producción frutícola para identificar las diferentes tecnologías de manejo con el fin de reorientar la fruticultura, en la actualidad, hacia sistemas de manejo más sustentables en vista del impacto ambiental que conllevan las prácticas que no son sustentables ni sostenibles con el medio ambiente no sólo en la fruticultura, sino en general en las actividades agrícolas, como responsables de la degra-

dación acelerada de los recursos naturales primarios, tales como el suelo, el agua, la vegetación (bosques y selvas), la pérdida de la biodiversidad (recursos fitogenéticos), daños ecológicos por el uso elevado y descontrolado de agroquímicos, la contribución al cambio climático, el uso excesivo y agotamiento de los recursos hídricos, los riesgos en la salud de los trabajadores, además de beneficios económicos mal distribuidos; actividades que generan objeciones a nivel nacional y mundial. La producción frutícola de México proviene de diferentes regiones agroecológicas con diversos sistemas de producción acorde a condiciones socioambientales y económicas que los agrónomos debemos de conocer y entender.

En el presente capítulo nos ocuparemos de exponer los principales sistemas de producción de frutales en México, entendiendo por sistemas de producción el conjunto de diversas formas, tecnologías y conocimientos para cultivar frutales y obtener frutos para la población a precios accesibles, altamente nutritivos, con calidad e inocuidad, además de cumplir con el rol económico de generar empleos e ingresos para los productores y jornaleros, así como para las cadenas productivas que se insertan en cada región del país.

Los sistemas de producción de frutales en México

La agricultura es la actividad humana consciente y necesaria que emplea el trabajo de hombres y mujeres que, mediante la aplicación de diferentes prácticas tecnológicas, ya sean tradicionales o modernas, con el aporte de las y los trabajadores, actúan sobre los recursos naturales primarios, que son el suelo, las plantas, el agua y el clima; esto, con la finalidad de obtener productos alimenticios para la humanidad entera, como lo son las frutas, verduras, hortalizas, los cereales o granos básicos, cultivos industriales, medicinales o las especias. Además, como actividad económica que cumple con el objetivo de producir alimentos para la población, la agricultura genera ingresos en el medio rural para los agricultores, jornaleros y todas aquellas personas que se integran en las cadenas de producción; del mismo modo, provee de materias primas para la agroindustria. Los cultivos agrícolas pueden subdividirse en granos básicos o cereales, hortalizas, frutales, cultivos industriales,

flores y flores ornamentales, plantas medicinales y especias, con diferentes sistemas o formas de producción, en cuya clasificación intervienen varios elementos o variables ambientales, sociales (culturales) y económicas.

Los sistemas frutícolas y agrícolas se definen o clasifican con base en diferentes variantes, tales como las siguientes: (a) Fuente de humedad: riego o temporal; (b) Tipo de tracción: maquinaria, tracción animal o manual, combinada; (c) Destino de la producción: comercial (venta: exportación, nacional, regional, local) o autoconsumo (auto abasto familiar); (d) Tipo de semillas o plantas: mejorada o nativa (criolla); (e) Nivel tecnológico: alto, intermedio, bajo (tradicional); (f) Tipo de productores: empresarios, campesinos, jornaleros, otros; (g) Tipo de mano de obra: familiar, asalariada, combinada (familiar y asalariada); (h) Forma de explotación: intensiva o extensiva; (i) Ciclo de cultivos: anuales o cíclicos, perennes, semi perennes; (j) Ubicación del cultivo: cielo abierto (suelo) o agricultura protegida (sustrato, ferti-irrigación, invernadero, macro túnel, acolchado); (k) Tenencia de la tierra: propiedad social (ejidal, comunal) o propietario (dueño); (l) Tipo de clima: cálido o tropical, semicálido o subtropical (transición), templado; (m) Número de especies o cultivos (disposición espacial): unicultivo (monocultivo), policultivo (asociado, intercalado, imbricado); (n) Condiciones del terreno: pendiente elevado (accidentado), medio o plano.

Con algunas de las variables anteriores, la clasificación de sistemas frutícolas es compleja, puesto que cada investigador puede usar diferentes criterios para agruparlos según su interés, experiencias y finalidades. A continuación, se señalan y describen tres grandes sistemas que agrupan a otros subsistemas de producción frutícolas que, de acuerdo con nuestra apreciación y experiencia, unimos y caracterizamos con las variables más sobresalientes que los distinguen.

Sistemas frutícolas tradicionales

Son aquellos sistemas que utilizan las prácticas agrícolas indígenas o de productores rurales o campesinos, resultado de la evolución conjunta de los sistemas sociales y medioambientales a través del tiempo y que muestran un alto nivel de sentido ecológico y sustentable expresado a través del uso

intensivo de los conocimientos sobre los recursos naturales y de los mismos recursos naturales, así como de los medios de producción, que incluyen la gestión de la agrobiodiversidad mediante sistemas agrícolas diversificados. La agricultura y fruticultura tradicional suele basarse en prácticas transmitidas de generación en generación desde hace mucho tiempo. Una característica destacada de los sistemas agrícolas tradicionales es su grado de diversidad vegetal en forma de policultivos o de sistemas agroforestales. En estos sistemas podemos distinguir: el huerto de traspatio (Andrés-Agustín et al., 2017), los huertos tolerados en orillas de parcelas cultivadas o caminos y la recolección de frutos. Cabe mencionar que los sistemas frutícolas son los sistemas de producción agrícola en donde más se emplean estas prácticas que se basan en el uso de los recursos naturales (suelo, clima, agua, plantas), recursos sociales (tenencia de la tierra, mano de obra, organización social, cultura) y económicos (autoconsumo, mercados, industria, tecnología de manejo, financiamiento) para la obtención de frutas que proporcionen la seguridad alimentaria de la población, tanto rural como urbana.

El sistema frutícola tradicional se caracteriza por el policultivo, es decir, el huerto de traspatio y la recolección, y está compuesta por varias especies de frutales (policultivo); se orienta principalmente hacia el autoconsumo y utiliza mano de obra familiar, esto es, no emplea agroquímicos y necesita escasas prácticas de manejo tecnológico; se puede encontrar en todo tipo de climas; la calidad del producto alterna entre baja y media por la diversidad genética y los daños de plagas y enfermedades; al manejarse gran número de especies de frutales, los cuidados requeridos permiten conservar *in situ* la diversidad genética de las especies frutícolas, principalmente nativas y algunas introducidas. Gracias a este sistema es posible recurrir a dichos huertos para la exploración, selección y recolección de nuevas especies y variedades, así como para conocer sus formas de uso diversificado y adquirir conocimientos agronómicos de los frutales a través de estudios etnobotánicos que hoy cobran mayor interés económico para los mercados de frutas exóticas; del mismo modo, reorienta la producción hacia la fruticultura sostenible, actualmente muy cuestionada por la fruticultura empresarial, de corte capitalista con diversos impactos ambientales, sociales y económicos, generalmente adversos a la sustentabilidad.

El huerto familiar (traspatio) es el más representativo de los sistemas frutícolas tradicionales en México; cumple con el rol de abastecer de todo tipo de productos agrícolas, no sólo frutícolas, sino hortícolas, medicinales, ornamentales, ceremoniales y especias, que son muy importantes para el auto abasto de alimentos; ocasionalmente, forman el complemento de ingresos económicos entre la población rural más pobre y con difícil acceso a los mercados de frutas por problemas de comunicación o escasez de recursos económicos para su consumo, pues resulta cada vez más inaccesibles debido a los problemas inflacionarios y la globalización de los mercados.

Otro sistema muy común se refiere a los huertos tolerados que se emplean para la recolección de frutos con especies diversas de árboles que pueden producir frutos comestibles; se toleran en orillas de caminos, de terrenos cultivados o entre áreas vegetales naturales. Especies nativas como el tejocote, capulín, ilama o papausa y canistel (Pérez-Barcena et al., 2021), entre otras, son sólo algunos ejemplos de frutales de recolección que conforman este sistema tradicional junto con los huertos de traspatio, ambos con presencia de gran diversidad morfológica, por lo que la conservación *in situ* por parte de los productores rurales, principalmente, campesinos indígenas, tiene gran importancia en los sistemas para la seguridad alimentaria de estos estratos de la población.

Es importante señalar que dentro del sistema de huertos tradicionales destacan los huertos familiares o de traspatio, que son pequeñas parcelas contiguas a la vivienda (imagen 5.1), donde se cultivan hortalizas, frutales, ornamentales, plantas medicinales y especias de manera intensiva y continua durante todo el año. La producción de alimentos por este medio se destina principalmente al autoconsumo familiar, pero el excedente puede comercializarse para generar un ingreso económico extra. Se utiliza mano de obra familiar o familiar-ampliada acorde al tamaño o superficie del huerto. En cuanto a especies frutales destacan los árboles nativos de semillas criollas con gran diversidad genética, pero también pueden establecerse frutales introducidos, como la pera en Veracruz (Sánchez-Cervantes et al., 2013).

Las condiciones agroclimáticas del sitio son las que determinan el tipo de especies frutales que pueden ser tropicales, subtropicales o de clima frío o templado. Este sistema, generalmente, es de baja productividad y calidad por tener escaso manejo tecnológico y conlleva, con frecuencia, muchos

daños por plagas y enfermedades; no obstante, la mayoría de las veces son productos agroecológicos u orgánicos sanos que no contienen residuos de agroquímicos, puesto que, de manera general, no se utilizan en ellos. También es muy importante señalar que este sistema de cultivo de frutales participa considerablemente en la conservación *in situ* de la diversidad genética de muchas especies, principalmente nativas, en donde se pueden realizar exploraciones, selecciones y recolectas de variedades nuevas, puesto que los productores, campesinos e indígenas, participan en la domesticación, selección y mejora genética de muchas especies de frutales. La agronomía debe revalorizar estos sistemas para reorientar el uso y conservación sostenible de la fruticultura y, en general, de la agricultura.

Imagen 5.1. Huertos de *traspatio* con árboles de chirimoyo y maguey en el municipio de Magdalena Peñasco, Oaxaca



Fuente: Fotografía del autor.

En un estudio de agricultura de *traspatio*, Olvera-Hernández et al. (2017) concluyen que el huerto de *traspatio*, huerto familiar o solar, es considerado como un agroecosistema integrado por plantas y animales de utilidad a la familia del medio rural, y que contribuye a la alimentación e ingreso económico por venta de excedentes. Agregan los autores que las especies vegetales del *traspatio* tienen importancia por el uso que los pro-

ductores les dan. Señalan también la composición y relevancia de las especies vegetales del traspatio de las familias campesinas de tres municipios del Noreste de Puebla, México, vinculando la situación sociodemográfica con el tamaño del traspatio, así como la importancia de especies frutales, anuales y perennes, el manejo y el cuidado del traspatio. En su estudio, se registraron al menos 20 especies de frutales y 46 de especies anuales y perennes, importantes por su contribución a la alimentación e ingreso de la economía familiar, resaltando que el manejo y cuidado del traspatio está a cargo del núcleo familiar.

Sistemas convencionales o sistemas modernos de producción frutícolas

La producción frutícola en México se desarrolla bajo este gran sistema de producción convencional o moderno que se caracteriza por manejar grandes unidades productivas y el empleo de tecnologías modernas basadas en el uso de agroquímicos tales como fertilizantes, reguladores de crecimiento, pesticidas de síntesis química, variedades mejoradas, unicultivos o monocultivos (una sola especie y variedad, ocasionalmente dos o tres), sistemas de riego presurizados con el suministro de fertilizantes solubles en el agua de riego (fertirriego), uso de maquinaria agrícola para las labores, contratación de mano de obra asalariada, productos dirigidos al mercado nacional y de exportación, elevados costos de producción, utilización de energía fósil para la maquinaria, y prácticas de inocuidad. Este sistema también es cuestionado por ser responsable del deterioro y contaminación del medio ambiente, ya que las prácticas de aplicación de agroquímicos acarrear consecuencias sobre la salud de los trabajadores jornaleros, por la falta de medidas de protección adecuadas, además de contaminar el agua, el suelo y provocar el aceleramiento del cambio climático, entre otros efectos negativos. Otra característica es el alto rendimiento y calidad esperada de los productos frutícolas que haga rentable su producción (Rojas-Pérez et al., 2022).

La mayor parte de la producción frutícola en México es obtenida bajo este sistema convencional o moderno que puede tener subsistemas, aunque para algunos investigadores, en realidad, son sistemas de producción; no

obstante, con base en las características comunes expuestas se pueden agrupar como subsistemas en el gran sistema de producción. Los frutales de mayor importancia cultivados bajo esta práctica son café, aguacate, mango, limón, naranja, durazno, nogal, papaya, coco, berries (fresa, zarzamora, arándano y frambuesa roja), toronja y plátano. Los subsistemas que pertenecen o se agrupan en este sistema de producción son los siguientes.

Huertos a cielo abierto o suelo

La actividad frutícola en México está bajo este sistema de establecimiento y manejo de huertos; que comprende a las huertas de aguacate, café, cereza convencional, naranja, plátano, guayaba, durazno (imagen 5.2), pera, manzanos, guanábana, mango, limón, nogal pecanero, nopal tunero, piña, pitahaya y pitaya, entre los de mayor superficie.

Imagen 5.2. Huerto de durazno convencional con estímulos basados en productos químicos para producción forzada en Tingambato, Michoacán



Fuente: Fotografía del autor.

Las prácticas de manejo de este sistema de producción son las siguientes: (a) elección, limpia y preparación del terreno; (b) barbecho; (c) cruza;

(d) rastreos (1-2); (e) surcado; (f) plantación; (g) podas; (h) riegos por gravedad o presurizados, generalmente integrado con el control químico de plagas (en algunas especies se utiliza el manejo integrado de plagas [MIP], enfermedades y malezas); (i) fertilización química y orgánica; (j) cosecha manual; (k) venta en campo; (l) participación industrial (proceso, selección y empaque); (m) aplicación de algunos principios del manejo postcosecha; (n) comercialización en mercados nacionales y de exportación; y (ñ) se utilizan variedades mejoradas.

En la mayoría de estos huertos se aplican buenas prácticas agrícolas con el fin de obtener los mejores rendimientos y calidad con inocuidad para la exportación. Las siembras pueden ser en surcos (herbáceas como las berries), hileras con diseños de sistemas de plantación triangular o “tresbolillo”, rectangular o en cuadro (árboles perennes). El manejo técnico no es uniforme, sino que varía mucho entre especies, regiones, tipo de productores, destino de la producción (mercado nacional o exportación) y rentabilidad del cultivo.

Además, se caracteriza por contar con unidades de producción tanto extensas como pequeñas, que en su mayoría tiene asesoría técnica con especialistas; se caracteriza también por aplicarse en monocultivos con escasa base genética (una o dos variedades) o en variedades de alto rendimiento con adaptación agroclimática; tiene un elevado uso de agroquímicos; hay una separación del cultivo con el ganado por cuestiones de inocuidad; es dependiente del uso del petróleo para el trabajo con maquinaria y equipos; y cuida el rendimiento y la calidad con inocuidad cuando el producto es para exportación.

Algunos huertos con cultivos destinados a la exportación (imagen 5.3) están siendo cuestionados por su poca sustentabilidad en el uso y conservación de los recursos naturales como el agua, suelo, cambio climático y pérdida de la biodiversidad debida fundamentalmente por extender el deterioro de los recursos vegetales (bosques y selvas) al realizar cambio de uso de suelo, también por incrementar la desigualdad social en la distribución de los ingresos y ganancias de manera inequitativa (las mayores ganancias son para dueños de empresas extranjeras), favorecen el rentismo de tierras, acaparamiento del agua de riego, riesgos por los daños en la salud de los trabajadores, contaminación ambiental, altos costos de producción y dificultades de mercado.

Imagen 5.3. *Huerto convencional de aguacate con instalaciones para manejo de inocuidad certificada en Uruapan, Michoacán*



Fuente: Fotografía del autor.

Agricultura protegida

Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sader, 2023), la agricultura protegida es aquella en la que los cultivos se encuentran resguardados con cubiertas plásticas, malla sombra u otro tipo de material que permiten tener un control de las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad o la luz. Al contar con condiciones controladas, el productor puede proteger sus cultivos de fenómenos como las heladas, las intensas lluvias, sequías o plagas, lo que previene la pérdida de los plantíos y genera un aumento en la producción. Esta manera de producir trae grandes beneficios como el ahorro de agua, la generación de empleos, una mayor disponibilidad de alimentos, productos con calidad superior, un mejor control de la producción, menor incidencia de plagas y enfermedades, la oportunidad de cultivar productos fuera de sus respectivas temporadas y mayores ganancias para los productores.

Este sistema se centra en la producción de especies herbáceas o arbustivas tales como las berries (fresa, frambuesa roja, arándano o blueberry y zarza-

mora), tomate rojo, pimiento y pepino europeo. Si bien proporciona una serie de beneficios, también conlleva inconvenientes como los elevados costos en su aplicación, la posible contaminación de los terrenos (imagen 5.4) al término del ciclo por los plásticos usados, las grandes cantidades de agroquímicos y agua que se utilizan, y los polinizadores requeridos por estar en ambientes cerrados.

En las berries (frutillas) y hortalizas de la región centro occidente y en Sinaloa de México se están utilizando los macro túneles de plástico, algunos invernaderos y la malla sombra. Además, en este sistema se ha estado usando el acolchado plástico y el fertirriego (sistemas de riego presurizado por goteo con inyección de nutrientes a base de fertilizantes altamente solubles), que puede aplicarse junto con agroquímicos o mediante manejo orgánico y control biológico de plagas y enfermedades; no obstante, requiere de buenas prácticas agrícolas para la inocuidad (el cercado, las instalaciones, la señalización, el uso de productos autorizados, la capacitación de personal, entre otras), y de asesoría técnica especializada. La producción está orientada hacia la exportación en mercados internacionales y los costos son muy elevados para adoptar estos sistemas.

Imagen 5.4. Sistema de cultivo de agricultura protegida en arándano (blueberry) con macro túnel y acolchado plástico en Zamora, Michoacán



Fuente: Fotografía del autor.

Producción recirculante (hidroponía)

Este sistema es el más novedoso y se encuentra en fase de desarrollo; aunque algunos productores ya lo están utilizando a escala comercial, conviene señalar que probablemente se utilice de manera masiva en los próximos años no sólo para frutillas, sino también para muchas especies de hortalizas. El sistema utiliza estructuras de plástico o invernaderos (agricultura protegida), pero incorpora la hidroponía; tiene mayor control en el manejo de agua; emplea soluciones nutritivas preparadas y sustratos inertes en lugar de suelo (arena, tezontle, vermiculita, germinaza o fibra de coco, entre otros); a través de este sistema se obtienen muy altos rendimientos, puesto que permite aplicar y controlar las prácticas de inocuidad; no obstante, el mayor inconveniente es el elevado costo de la inversión inicial, además de que requiere, forzosamente, de la asesoría de expertos en hidroponía.

Sistemas de producción frutícola agroecológicos

Actualmente, la agricultura convencional o industrial está recibiendo fuertes cuestionamientos por favorecer el deterioro ambiental (principalmente, por acelerar el cambio climático, su influencia en el daño y contaminación del suelo y agua, y la pérdida de la biodiversidad), la desigualdad social y económica, la afectación de salud de trabajadores y productores, así como de los consumidores, entre otros. Se discute y propone, por lo tanto, la incursión en un sistema de producción frutícola con orientación agroecológica que contemple su vínculo con los policultivos, la inclusión de animales y el rediseño del paisaje, el uso de materia orgánica como fuente de nutrientes y la mejora del suelo, el empleo racional del agua, el control biológico de plagas y enfermedades, y la revalorización de la tecnología tradicional de producción ya caracterizada (es decir, la producción sostenible). Esta nueva forma de generar productos agrícolas es reciente y nace como una respuesta a la necesidad de la transición de la agricultura en general, y de la horticultura y fruticultura en particular, hacia un modelo sustentable. Aunque de manera lenta, poco a poco existe una tendencia hacia la mudanza a este nuevo sistema de producción agrícola a nivel nacional y mundial.

Gliessman (2016) consigna que la agroecología es una forma de rediseñar los sistemas alimentarios desde la granja hasta la mesa con el objetivo de lograr la sostenibilidad ecológica, económica y social; además, menciona el mismo autor, que para transformar o transitar de la agricultura industrial o convencional hacia la agricultura agroecológica se requiere de las acciones en por lo menos 5 niveles:

Nivel 1: Incrementar la eficiencia de las prácticas industriales y convencionales para reducir el uso y consumo de productos costosos, escasos o perjudiciales para el medio ambiente.

Nivel 2: Sustitución de prácticas alternativas por insumos industriales o convencionales.

Nivel 3. Rediseñar el agroecosistema para que funcione sobre la base de un nuevo conjunto de procesos ecológicos.

Nivel 4: Restablecer una conexión más directa entre quienes cultivan nuestros alimentos y quienes los consumen.

Nivel 5: Sobre la base creada por los agroecosistemas sostenibles a escala de finca alcanzados en el Nivel 3 y las nuevas relaciones de sostenibilidad del Nivel 4, se pretende construir un nuevo sistema alimentario mundial, basado en la equidad, la participación, la democracia y la justicia, que no sólo sea sostenible, sino que ayude a restaurar y proteger la vida de la tierra a través de sistemas de apoyo de los que todos dependemos.

En suma, la Agroecología es una ciencia nueva que nace de las discusiones, cuestionamientos y preocupaciones de la agricultura convencional para ofrecer la alternativa de un nuevo sistema de producción agrícola y frutícola que incorpore conocimientos de la ecología y la agronomía hacia prácticas sostenibles. Los principios y estrategias de la agroecología, según Infante y San Martín (2016), son los siguientes: (a) Altas tasas de reciclaje para mantener un flujo permanente de nutrientes y disminuir los requerimientos de insumos externos; (b) Estimular la máxima diversificación de los agroecosistemas; (c) Asegurar la mejor condición de suelo manteniendo estable el contenido de materia orgánica, permitiendo un funcionamiento biológico de suelo que sostenga la fertilidad y la sanidad de los cultivos; (d) Aumentar las interacciones de los componentes del sistema

fortaleciendo los procesos internos que apoyan y refuerzan la estabilidad; (e) Disminuir las pérdidas del sistema cerrando los ciclos de agua, materia orgánica, nutrientes, etc.; (f) Considerar las bases culturales de los sistemas tradicionales para el diseño y fortalecimiento de agroecosistemas de base agroecológica.

Fruticultura orgánica

La producción orgánica en la agricultura y horticultura en general, y particularmente en la fruticultura, se puede considerar como el sistema agroecológico de mayor importancia en relación con la superficie cultivada, los volúmenes de producción y el número de productores que participan bajo este esquema en México. La Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Ecológica (IFOAM, 2005) define a la agricultura orgánica como un sistema de producción que mantiene y mejora la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Señala también como principios de la agricultura orgánica los siguientes: (a) Principio de salud: la agricultura orgánica debe sostener y promover la salud de suelo, planta, animal, persona y planeta como una sola e indivisible; (b) Principio de ecología: la agricultura orgánica debe estar basada en sistemas y ciclos ecológicos vivos, trabajar con ellos, emularlos y ayudar a sostenerlos; (c) Principio de equidad: la agricultura orgánica debe estar basada en relaciones que aseguren equilibrio con respecto al ambiente común y a las oportunidades de vida; (d) Principio de precaución: la agricultura orgánica debe ser gestionada de una manera responsable y con precaución para proteger la salud y el bienestar de las generaciones presentes y futuras, y del medio ambiente.

Los siguientes requerimientos pueden considerarse como básicos para la producción orgánica de frutos: (a) Tener un sistema orientado a la producción de frutos orgánicos de alta calidad nutritiva; (b) Que el cultivo interactúe con los ciclos naturales de todo organismo vivo de una forma constructiva y que promueva la vida; (c) Que respete los ciclos biológicos, los estudie y comprenda; (d) Que promueva el mejoramiento de la fertilidad del suelo promoviendo la remineralización de los campos de cultivo, su desintoxicación y el incremento de la microflora y microfauna en donde

habita, y que cuide la calidad y el uso del agua; y (e) Que el control de hierbas, plagas y enfermedades se realice sin el empleo de insumos de síntesis químico industrial.

Cabe destacar que la producción orgánica en México está regulada por la Ley de Productos Orgánicos (2010), que fue elaborada por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica) y aprobada por la Cámara de Diputados. Por lo tanto, el término agricultura orgánica se refiere al uso de técnicas y procesos que utiliza métodos que respetan el medio ambiente, la salud de las personas, desde las etapas de producción hasta las de manipulación y procesamiento, y que respetan el reparto justo y equitativo de las ganancias. La producción orgánica no sólo se ocupa del producto, sino también de todo el sistema que se aplica para producir y entregar el fruto al consumidor final. Hoy en día la producción orgánica se entiende como la obtención de productos agrícolas y frutícolas en la cual alguna empresa especializada extiende un certificado donde constata que efectivamente ese producto ha sido manejado con las prácticas orgánicas establecidas, de lo contrario no se considera orgánico. Esto desde luego implica contratar empresas y hacer pagos elevados, lo que desanima a muchos productores; no obstante, para la venta y exportación de dichos productos definitivamente se exige ese certificado.

A nivel mundial, la producción orgánica crece año con año. Los países con la mayor superficie de cultivo orgánico en el mundo en 2021 son: Australia, que, sin ninguna duda, es el país líder en agricultura orgánica al contar con una superficie agraria destinada a este tipo de cultivos cercana a los 35 700 000 hectáreas. La diferencia con los otros dos países que completan el podio supera los 30 millones de hectáreas. En concreto, el área dedicada a cultivos ecológicos en Argentina, que ocupa el segundo lugar de la clasificación mundial, se situó en torno a los 4 100 000 hectáreas durante el mismo año. España perdió una posición con respecto a 2020, quedando relegada al séptimo puesto (Orus, 2023). Aunque México no figura en la lista anterior, se conoce que ocupa el tercer sitio a nivel mundial. Según la Sader (2019), en México los productos que más se producen de manera orgánica son el café, aguacate, guayaba, limón, uva, fresa, coco, plátano, cártamo, mango, chía, zarzamora, naranja, garbanzo, tomate y maíz; destacan los frutales y algunas hortalizas en este sistema de producción. Las

entidades con mayor producción orgánica son: Chiapas, Baja California y Oaxaca. Más de 164 mil hectáreas de cultivo están certificadas bajo la Ley de Productos Orgánicos, 38 107 productores han sido autenticados en cumplimiento a la citada ley, y de ellos, 86 % son pequeños productores que cuentan con una superficie de hasta 5 hectáreas.

En la práctica, la fruticultura orgánica se centra en el manejo de la fertilidad del suelo por medio de la aplicación de estiércoles y compostas, residuos orgánicos como abonos verdes y otros materiales orgánicos; no se permite la aplicación de fertilizantes de síntesis química. El control de plagas y enfermedades es el otro aspecto importante dentro del manejo orgánico de las huertas a través del uso de extractos vegetales, control biológico y uso de algunos minerales como el cobre. Se incluyen las buenas prácticas de manejo para la inocuidad. Además, se aceptan como sinónimos de la agricultura orgánica denominaciones como agricultura alternativa, ecológica, biológica, natural, bio-dinámica y regenerativa, siendo la fruticultura orgánica la de más alto desarrollo en la actualidad. El sector campesino es el que mayor dinamismo ha tenido en la transformación de la agricultura orgánica en México debido a que han venido utilizando tecnologías más cercanas a las agroecológicas por varias razones, entre ellas, por los altos costos de los agroinsumos.

Hacia la sustentabilidad de la producción frutícola

La Food and Agriculture Organization of the United Nations / Sagarpa (FAO / Sagarpa, 2014) señalan que por cambio climático se entienden las variaciones del clima atribuidas directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables y sus efectos sobre el sector agropecuario, ya que éste es altamente dependiente del clima y, por tanto, vulnerable a los cambios que presenta. Agregan que entre los efectos del cambio climático se tiene el incremento en la temperatura, lo cual presenta alteraciones negativas en el desarrollo vegetativo de los cultivos y provoca la proliferación de malas hierbas e insectos dañinos, así como la aparición o reemergencia de enfermedades. También, como

efecto del cambio climático se registran eventos extremos como las sequías, las heladas y las inundaciones, las cuales afectan de manera negativa la producción agropecuaria, por lo que, en el contexto de la actual crisis internacional de precios de los alimentos, los sucesos climáticos extremos juegan un papel importante.

Actualmente, existe un debate mundial sobre los efectos adversos que produce el cambio climático, no sólo en la agricultura, sino en la población en general, con inundaciones, sequías, calor excesivo, erosión del suelo, granizadas, heladas, agotamiento y escasez del agua, ciclones y huracanes, que ocasionan diferentes alteraciones en la población humana, en la producción agrícola y la seguridad alimentaria, y que provoca mayor pobreza y desigualdad, principalmente en zonas rurales, con el consecuente aumento en los índices de migración en busca de alternativas de sobrevivencia. La agricultura ha recibido severas críticas por el impacto que el uso de agroquímicos y fertilizantes ha generado por décadas, las prácticas de quema de residuos de cosecha, el consumo de mayores volúmenes de agua, la deforestación y el cambio de uso de suelo para la fruticultura y la ganadería.

Al reconocer que el cambio climático está alterando las condiciones de vida en el planeta, los debates sobre las causas y responsabilidades se incrementan; no obstante, la población aumenta y se requieren grandes volúmenes de alimento y una distribución más equitativa. Es claro que se debe reorientar la tecnología de producción agrícola hacia el manejo sostenible, atendiendo no sólo el uso racional de los recursos naturales, sino también la cuestión social y económica. La respuesta al cambio climático es variable entre países; casualmente, los países que más contaminan con las emisiones de CO₂ (países industrializados) son los que menos responsabilidades adquieren para combatir este fenómeno que año con año se vuelve una gran amenaza para la humanidad.

En la agricultura en general, y en la fruticultura en particular, se manejan plantas que responden a los elementos del clima, como la temperatura y humedad, para su crecimiento y desarrollo normal, de acuerdo con respuestas de adaptación agroecológica a través del tiempo; de esta manera, se reconocen en la actualidad tres principales tipos de frutales acorde a la adaptación por su clima: frutales tropicales, subtropicales y de clima templado. Por lo tanto, el crecimiento y desarrollo de estas especies frutícolas

dependen de la influencia que las actividades fisiológicas reciben directamente de los elementos del clima: temperatura, precipitación, humedad relativa, viento, insolación, nubosidad, evaporación y presión atmosférica. Por otro lado, los factores del clima como la altitud, latitud, circulación de la atmósfera, orografía o relieve del lugar e influencia de corrientes marinas, también influyen sobre la ecofisiología y morfología de los frutales. Ante los cambios de estos elementos climáticos es de esperar que la actividad fisiológica se modifique, afectando directamente la fenología del árbol frutal, lo que impacta directamente en el rendimiento y calidad de los frutos.

El cambio climático sucede a nivel mundial, pero tiene sus expresiones regionales (Avilés-Reyes et al., 2022) y por zonas variables de un año a otro, que presenta muchas dificultades para una predicción acertada. En la fruticultura nacional, por lo tanto, dependiendo de regiones y especies, las afectaciones son inconstantes y se ha visto en los últimos años alteraciones causadas por granizadas o heladas atípicas, bajas temperaturas que afectan la floración y el amarre de frutos; cambios en la humedad relativa; precipitaciones escasas que provocan sequía o elevadas, que producen inundaciones; presencia de huracanes y ciclones con caídas de árboles, resquebrajaduras de ramas y troncos, deshoje y desprendimiento de frutos; mayor presencia y daño de plagas y enfermedades; incidencia de malezas; inundaciones y sequías, con un aumento en la demanda de recurso hídricos.

No siempre el impacto es negativo, puede haber algunos puntos positivos en este cambio de los elementos del clima, pero se requiere conocer a profundidad el manejo de la tecnología actual para sacar provecho de aquellos elementos del clima que afectan positivamente la fisiología de los frutales. Para ello, es necesario crear y actualizar las estaciones meteorológicas que monitorean el clima en cada región frutícola con el fin de asociar esos elementos y sus niveles de cambio y para ajustar las prácticas de manejo tecnológico. El ajuste tecnológico es muy necesario y muchos productores de frutales están dando esta batalla en México y a nivel mundial; así, aunque el cambio tecnológico influye sobre el incremento en los costos, se justifica la inversión, como en el caso del sistema de agricultura protegida para la producción de berries y hortalizas que se ha incrementado de manera general, precisamente para contrarrestar los efectos del cambio climático y proteger la elevada inversión que se hace en este sistema de producción.

La producción de un frutal depende de la diaria interacción de los árboles con el clima, el suelo, la humedad, la nutrición, la presencia de plagas, enfermedades y malezas, además de las intervenciones tecnológicas, que permiten a las plantas desarrollar su potencial en la medida en que se minimizan las causas de estrés (García-Barreda et al., 2021). En el caso del aguacate, un frutal de gran importancia económica para el país, y especialmente para Michoacán, Avilés et al. (2022) menciona que el cambio climático ha puesto en riesgo sus cosechas en los diferentes países productores.

Se calcula que para finales de siglo *xxi* la temperatura aumente entre 1.1°C, en el mejor de los casos, y 6.4°C, en el peor. Para las zonas productoras de aguacate en México se prevé un aumento en la temperatura, lo que provocará que durante la floración no sólo se acorte el periodo de apertura de flores, sino que se reducirá la cantidad de estas; las lluvias excesivas en poco tiempo traerán consigo mayor incidencia de plagas, enfermedades e inundaciones, lo que provocará un menor crecimiento de la raíz, además de problemas con los agentes polinizadores, como es el caso de las abejas, lo que repercutiría en una menor eficiencia de polinización, menos cuajado de fruto y menor rendimiento.

Con el fin de disminuir los mencionados riesgos causados por el cambio climático se debe implementar un plan integral que incluya la creación y uso de variedades con mayor rango de adaptabilidad, y que contemple el manejo sustentable de los recursos naturales y de agroquímicos. La fenología del aguacate ‘Hass’ cultivado en Michoacán es vulnerable al cambio climático debido a la presencia de dos amenazas: (a) El aumento de la temperatura máxima media anual; y (b) El retraso de la inflexión (descenso) de la temperatura mínima (Álvarez-Bravo et al., 2017).

Los impactos del cambio climático se ven reflejados en el ciclo hidrológico al influir en la evapotranspiración y en la precipitación, afectando la demanda de riego y la gestión de los sistemas de riego (Ojeda-Bustamente et al., 2011). De igual manera, las consecuencias de las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento de los cultivos alteran su rendimiento puesto que el inicio de la estación se modifica. En el caso del café, en Veracruz, se encontró que los escenarios de cambio climático apuntan a serios riesgos en la producción de café; por ejemplo, un exceso en las

condiciones de humedad podría generar la aparición de enfermedades como el *mal de hilachas*; el cambio de temperatura afecta el promedio de lluvias mensuales; la amplitud de la sequía preestival durante el invierno modifica el inicio de la floración; y la variación de humedad y sequía altera el crecimiento del fruto (Villers et al., 2009).

Otro de los efectos del cambio climático se ve reflejado en la distribución de plagas y enfermedades en animales y plantas. De acuerdo con el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (Sinavef), la sequía prolongada y el incremento constante de temperatura, al igual que otros fenómenos derivados del calentamiento global (ciclones y nortes) favorecerán de manera general a las especies invasoras de insectos (transfronterizas), lo que incrementaría la presión de las plagas sobre los cultivos.

Por lo que respecta a los frutales de clima templado o caducifolios en México, estos se cultivan en el centro y norte del país, donde la temperatura al final del otoño y durante el invierno es baja para que ocurra una defoliación de los árboles y presenten letargo durante el invierno. El calentamiento global, como efecto del cambio climático, tiene el potencial de reducir las horas frío (HF) disponibles en el invierno y afectar la producción de los árboles frutales caducifolios (Medina-García et al., 2019). Las HF son temperaturas menores o iguales a 7.2°C y tienen un efecto directo en la fisiología de los frutales de clima templado, ya que les permite adaptarse de acuerdo con sus necesidades en la degradación de las reservas (almidón) en azúcares simples para la rebrotación foliar y la floración después de completar los requerimientos de las HF como mecanismos de adaptación. Por lo tanto, el efecto del cambio climático puede alterar la temperatura, las HF y las horas calor (HC), impactando directamente en la brotación foliar y floral, esto es, el rendimiento y calidad de frutos.

El estudio de Medina-García et al. (2019) sobre los efectos del cambio climático, en cuanto a la acumulación de horas frío en el periodo invernal, concluye que, en análisis histórico sobre la variación del número de horas frío (HF) y un análisis similar en los escenarios climáticos de 2030, 2050 y 2070, en varios escenarios, se encontraron efectos del cambio climático, los cuales serán desfavorables para los frutales de clima templado, provocando la disminución de la superficie establecida con frutales. Si eso pasa en el norte, podemos esperar que en el centro del país el efecto sea mayor. No

sólo se trata de reducción de HF, sino que también pueden presentarse situaciones adversas de cambio de clima por la presencia de heladas, granizadas, sequías y mayores requerimientos de agua para el riego.

Las experiencias prácticas de los efectos del cambio climático en la fruticultura son diversas; por ejemplo, las granizadas han aumentado en frecuencias y en el tamaño de los granizos de tal manera que en los cultivos de pepino, jitomate y aguacate se han observado daños totales en el follaje, caída de frutos y rajaduras, impactando directamente en el rendimiento y la calidad de las cosechas. Las granizadas no sólo se presentan en la temporada normal de lluvias de junio a septiembre, sino que se han registrado durante los meses fuera de la temporada de lluvias. En el cultivo de aguacate, se pueden ver huertas en la región de Uruapan, Michoacán, con daños casi totales en el follaje y caída de frutos en desarrollo, lo que resulta en cuantiosas pérdidas. Del mismo modo, en la región de Maravatío, Michoacán, hemos visto daños al follaje en la fresa cuando la planta comienza su desarrollo vegetativo a fines del mes de agosto, y aunque la planta se recupera, se atrasa el crecimiento inicial de la planta y, con ello, la producción. Una de las razones por las que se utilizan plásticos en los invernaderos o macro túneles en frutales pequeños es precisamente para evitar los daños por granizo y heladas. Así, con el fin de reducir los daños generados por el granizo en la fruticultura se incrementa el uso de caños antigranizo, que quizá también perjudiquen el ambiente; no obstante, además de que se desconoce su efectividad, impactan directamente en los costos de producción.

Es muy necesario que en nuestro país se continúe con los estudios sobre el cambio climático, utilizando todas las herramientas científicas al alcance, como el uso de los sistemas de información geográfica (SIG), el establecimiento de estaciones climatológicas para monitorear los cambios predecibles y detectables y para prevenir, hasta donde sea posible, el impacto negativo de los cambios en los elementos del clima, como el cambio de la temperatura y precipitación, la presencia de fenómenos atmosféricos como los huracanes y ciclones, entre otros. También, es importante señalar que se debe continuar con la conservación *in situ* y *ex situ* de los recursos fitogenéticos de los frutales, pues el cambio climático puede ocasionar la pérdida de dichos recursos; además de mantener la mejora genética para crear nuevas variedades con resistencia o tolerancia a las adversidades como la sequía,

inundaciones, resistencia a plagas y enfermedades, requerimientos de horas frío y horas calor, entre otros parámetros. Se debe apoyar a los productores con capacitación en el uso de las prácticas agroecológicas y las necesidades de transformación de la agricultura convencional hacia la agroecológica.

Los actuales cuestionamientos que se hacen sobre la fruticultura con tecnología convencional basada en agroquímicos y energía fósil que provoca el deterioro de los recursos naturales (suelos, clima, ciclo hidrológico, agotamiento de los recursos vegetales, pérdida de la biodiversidad, riesgos sobre la salud de los trabajadores agrícolas, aumento del cambio climático), así como la falta de inequidad en el reparto de las ganancias derivadas de la actividad frutícola, hacen indispensable que la investigación agrónoma y la formación docente reoriente los contenidos hacia la sostenibilidad. No está de más plantear la necesidad de capacitar a los agrónomos que se dedican a brindar asesoría técnica a los productores y a los mismos trabajadores (jornaleros agrícolas) para seguir el camino de las prácticas sostenibles en la fruticultura; esta reorientación, además de necesaria, es urgente.

Por lo anterior, la adopción de prácticas agroecológicas es fundamental para la fruticultura sostenible, siguiendo el ejemplo de algunos productores y empresas que están ya utilizándolas (agricultura orgánica) en la fruticultura con algunos cultivos como el café, aguacate, durazno, papaya, mango, berries, coco, limón, hortalizas y otros frutales, como una nueva alternativa de producción más sostenible. Así mismo, conviene revalorar y adoptar algunas prácticas y conocimientos de la fruticultura tradicional, tales como el uso de abonos, compostas, extractos vegetales para la nutrición y el control de plagas y enfermedades; de manera que podamos desarrollar la fruticultura agroecológica.

Conclusiones

Los sistemas de producción frutícolas quedan entendidos, entonces, como el conjunto de diversas formas, tecnologías y conocimientos para cultivar frutales y obtener frutos destinados a la población a precios accesibles, altamente nutritivos, con calidad e inocuidad, que cumplan con el rol econó-

mico de generar empleos e ingresos para los productores, jornaleros y las cadenas productivas que se insertan en cada región y país. Los principales sistemas de producción frutícolas en México son: los sistemas tradicionales, donde se incluyen los huertos de traspatio; los sistemas convencionales o industriales con tecnología basada en agroquímicos, maquinaria agrícola, y producción orientada a la comercialización en los mercados nacionales y de exportación; y los sistemas agroecológicos, donde la producción orgánica está encaminada a la producción sostenible, y continúa su desarrollo en crecimiento con muchos frutales.

El cambio climático afecta el rendimiento y la calidad de la producción frutícola por la presencia de diversos fenómenos adversos como granizadas, heladas, inundaciones, sequía, calor elevado, aumento de daños por plagas y enfermedades, incidencia de malezas, presencia de ciclones, huracanes, temperaturas bajas y elevadas que afectan la fisiología de los frutales, así como lluvias torrenciales que aumentan la erosión del suelo.

Referencias

- Álvarez-Bravo, A., Salazar-García, S., Ruiz-Corral, J., 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.
- Andrés-Agustín, J., Soto, M., Famiani, F., y Cruz-Castillo, J. G. (2017). *In situ* characterization of fruits and seeds of a number of white sapote (*Casimiroa edulis* Llave & Lex.) accessions in Mexico. *HortScience*, 52(12), 1849-1852.
- Avilés-Reyes, A., Castro Acosta, E., López Fuentes, A., Mendoza Bautista, C. y Secundino José, K. (2022). *Cambio climático y producción de aguacate*. www.researchgate.net/publication/357662730_Cambio_climatico_y_produccion_de_aguacate
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2010). *Reglamento de la Ley de Productos Orgánicos* [01 de abril de 2010]. Diario Oficial de la Federación.
- Delgado, I. (14 de junio de 2017). Los principios de la agricultura orgánica: IFOAM. *Agro Excelencia*.
- Dimitri, G. M., y Trambusti, A. (2014). Precision agriculture for wine production: A machine learning approach to link weather conditions and wine quality. *Heliyon*, 10, e31648. <https://doi.org/10.1060/j.heliyon.2024.e31648>
- García-Barreda S., Sangüesa-Barreda G., Madrigal-González J., Seijo F., González de Andrade E., y Camarero, J. (2021). Reproductive phenology determines the linkages between radial growth, fruit production and climate in four Mediterranean tree

- species. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108493>
- Gliessman, S. (2016). Transforming food systems with agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(3), 187-189.
- Infante-Lira, A., y San Martín, K. (2016). *Manual de Producción Agroecológica*. Instituto de Desarrollo Agropecuario / Ministerio de Agricultura.
- Medina-García, G., Grageda-Grageda, J., Ruiz-Corral, J., Casas-Flores, I., Rodríguez-Moreno, V., y de la Mora-Orozco, C. (2019). Disminución de las horas frío como efecto del cambio climático en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6): 1325-1337.
- Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Ñíñez-Covarrubias, M., y Montero-Martínez, M. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45, 1-11.
- Olvera-Hernández, J., Álvarez-Calderón, N., Guerrero-Rodríguez, J., y Aceves-Ruiz, E. (2017). Importancia de especies vegetales en el traspatio de familias campesinas del Noreste de Puebla, México. *Revista Agroproductividad*, 10(7): 27-32.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura / Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2012). *México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*. FAO / Sagarpa.
- Orús, A. (2024). *Ranking de los 10 países con la mayor superficie agraria destinada a cultivos orgánicos en el mundo*. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/542958/paises-con-la-mayor-superficie-de-cultivo-organico-en-el-mundo/>
- Pérez-Bárcena, J. F., Cruz-Castullo, J. G., De Jesús-Sánchez, A., Jiménez-Aparicio, A. R., y Evangelista-Lozano, S. (2021). Germinación y desarrollo de plantas de *Pouteria campechiana* (Sapotaceae). *Botanical Sciences*, 99(2), 377-387. <https://doi.org/10.17129/botsci.2796>
- Posgraduados y Escuela Nacional de Agricultura. SADER. (2019). *Productos orgánicos, naturalmente importantes*. www.gob.mx/agricultura/articulos/productos-organicos-naturalmente-importantes.
- Rojas-Pérez, L., Cruz-Castillo, J. G., Monterroso-Rivas, A. I., y Flores-Magdaleno, H. (2022). Avocado (*Persea americana* Mill.) production in Huatusco, Veracruz, Mexico. *Agro Productividad*, 15(12), 127-136. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i12>
- Sánchez-Cervantes, M., Cruz Castillo, J.G., y Inurreta-Aguirre, H.D. (2013). Agronomía y ambiente de la pera (*Pyrus communis* L.) en la región central de Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola*, (50-51), 55-63. <https://www.redalyc.org/pdf/757/75749283005.pdf>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2019). *Productos orgánicos, naturalmente importantes*. Gobierno de México / Sader. www.gob.mx/agricultura/articulos/productos-organicos-naturalmente-importantes
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023). *Agricultura protegida, otra manera de cultivar*. Gobierno de México / Sader. www.gob.mx/agricultura/articulos/agricultura-protegida-otra-manera-de-cultivar
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación / Sistema

de Información Agroalimentaria de Consulta (2013). Sistema de información agroalimentaria de consulta de producción frutícola. Sagarpa/Siacon.

Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., Conde, C., y Hernández, J. (2009). Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, 34(5): 322-329.

6. Fruticultura agroecológica innovada por agricultores en Cuba



LUIS LADISLAO VÁZQUEZ*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.06>

Resumen

Los sistemas frutícolas tradicionales son resultado de una coevolución cultural y biológica, los cuales representan la experiencia acumulada de los campesinos en su interacción con el medioambiente y a las variables climáticas. Mediante la sistematización de sistemas frutícolas múltiples en diferentes agroecosistemas de Cuba se identifica una amplia diversidad de diseños de policultivos. En éstos, frecuentemente se observan mayores rendimientos en una determinada área sembrada con respecto de un área equivalente, sembrada en forma de monocultivo o aislada. Desde que la producción frutícola en Cuba ha tenido importantes vertientes de desarrollo desde los años sesenta del siglo pasado, se presentan diversas evidencias de los avances en la transformación o transición agroecológica de la fruticultura en Cuba. A partir de la premisa de que existe una relevante contribución de sistemas frutícolas múltiples a la regulación climática ecológica, se ofrece en este capítulo una caracterización funcional de varios policultivos que son representativos en la isla; principalmente, de aquellos que integran frutales y sistemas de polifrutales.

Palabras clave: *fruticultura agroecológica, innovación, Cuba.*

* Doctor en Ciencias. Consultor independiente. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5085-0132>

Introducción

Debido a varios factores que han evidenciado la insostenibilidad de la producción frutícola con base convencional o industrial, ha ocurrido una transición hacia la sustitución de insumos, entre otras prácticas de la agricultura orgánica que, a su vez, han facilitado la transformación hacia sistemas de cultivos frutícolas múltiples con diseño y manejo agroecológico. Los sistemas de cultivo múltiples son tradicionales en Cuba y han sido conservados por la agricultura campesina, y se ha evidenciado su contribución a la resistencia ante eventos extremos como los brotes incontrolables de plagas (mediados de la década de 1980), el colapso de la agricultura convencional (principios de la década de 1990), la frecuencia e intensidad de sequías (principios de siglo) o la crisis por pandemia y sus consecuencias (desde 2021).

Una de las principales razones por la que los agricultores a nivel mundial adoptan policultivos es que frecuentemente se puede obtener un mayor rendimiento en la siembra de una determinada área sembrada como policultivo que de un área equivalente sembrada en forma de monocultivo o aislada. Es una forma de mejorar la utilización de recursos que refleja tres fenómenos: complementación en el uso de ellos, facilitación entre especies y cambios en la partición de recursos. El aprovechamiento de los frutales en combinación con hortalizas en contextos familiares y de pequeños productores es una alternativa válida para el acceso a alimentos inocuos y nutritivos con la finalidad de satisfacer sus necesidades alimenticias y poder llevar así una vida activa y sana (Alvez y Alayón, 2020, p. 274).

Precisamente, introducir como criterio las funciones que realizan las plantas productivas integradas en los diseños de sistemas de cultivos múltiples, así como aquellas que se logran como resultado de las interacciones del diseño, manejo temporal y espacial de este, refuerza la hipótesis de que no es suficiente con lograr complejidad en los diseños agroecológicos, sino que se requiere multifuncionalidad (Vázquez et al., 2015, p. 6). De hecho, el auge de las innovaciones realizadas por agricultores en los últimos 30 años sobre policultivos que integran frutales apremia la necesidad de investigar las multifunciones socioecológicas de estos diseños como base para contribuir a una mayor sustentabilidad de la producción frutícola.

Transición agroecológica de la fruticultura en Cuba

La producción frutícola en Cuba ha tenido dos vertientes de desarrollo desde los años 70 del siglo pasado: (a) citricultura para la exportación en 15 grandes empresas (145 000 ha) mediante un programa que requirió importantes esfuerzos inversionistas (Anaya et al., 2016, p. 3); y (b) otras especies frutícolas para el consumo fresco y de la industria nacional en los siguientes planes especiales: Antonio Maceo, Pinar del Río; Cordón de La Habana; Motembo, Villa Clara; Escambray, Sancti Spiritus; El Junco, Cienfuegos; Santa Cruz del Sur, Camagüey; Belic, Granma; El Caney, Santiago de Cuba (Cueto y Otero 2016, p. 296).

De forma paralela, en Baracoa, provincia Guantánamo, aprovechando las condiciones climáticas y la cultura de sus pobladores en la producción de coco (*Cocos nucifera*), se organizó un programa para el desarrollo y aprovechamiento integral de esta fruta, llegando a plantarse más de 15 000 ha en el municipio, e instalando una planta para la extracción de aceite de coco en 1967; dicho programa también incluyó la recuperación del cultivo y la producción de piña (*Ananas comosus*), impulsando, así, a plantaciones en San Antonio de los Baños, La Habana, en Ciego de Ávila y otras provincias (Cueto y Otero 2016, p. 296).

La crisis económica desde los años 90 limitó el acceso a insumos importados para la producción en las grandes empresas especializadas; a su vez, las plantaciones comenzaron a manifestar estrés a causa de la combinación de factores como la desnutrición, el monocultivo y problemas fitosanitarios, entre otras, evidenciando que el modelo convencional de desarrollo frutícola era insostenible. Desde mediados de los años 90, estos programas se reorientaron hacia la producción diversificada, sustituyendo insumos importados por bioinsumos nacionales (Cueto y Otero 2016, p. 295); mientras que, a finales de esta década, se comenzaron a establecer fincas integrales de frutales, cuyo manejo combina especies frutícolas de períodos reproductivos largos, medianos y cortos en una misma hilera, y sacando provecho de las calles, cultivos de porte bajo y de ciclos cortos, como algunos frutales, leguminosas, gramíneas, tubérculos, hortalizas (Rodríguez et al., 2009, p. 52).

De acuerdo con Cueto y Kilcher (citado en Cueto y Otero, 2016, p. 299), desde el año de 1996 se comenzó a trabajar en la reconversión de áreas de cítricos convencionales en el marco de un nuevo proyecto de producción y comercialización de cítricos orgánicos, fundamentalmente, para las producciones de jugos que cumplieran con todos los requisitos de certificación y los parámetros técnicos de calidad para su comercialización en el mercado europeo, en particular, Suiza. Agregan Cueto y Otero (2016) que en el año 2002 se identificaron en las montañas del oriente cubano un grupo importante de productores de toronja (*Citrus paradisi*) y naranja (*Citrus sinensis*), y posteriormente en el año 2004 productores de coco y mango (*Mangifera indica*); esto, con el fin de organizar la obtención de productos derivados de estas frutas para ser comercializados internacionalmente como orgánicos.

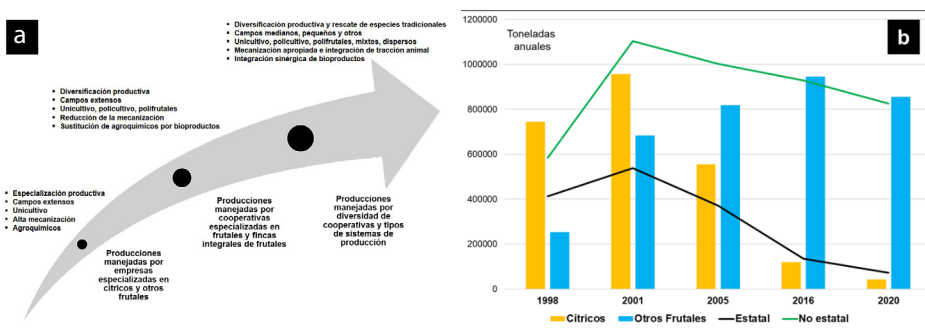
Los años 90 también coincidieron con el inicio de la transición agroecológica de la producción agrícola, que condujo a la recuperación del modelo de finca tradicional, donde las producciones se diversificaron, se integró la agricultura con la ganadería, y se restauraron estructuras de vegetación auxiliar; transformaciones que contribuyeron a la integración de frutales en campos, arboledas y cercas vivas internas. Al mismo tiempo, innovaciones agroecológicas realizadas por campesinos sobre policultivos agrícolas sirvieron de base para generar diseños de sistemas de cultivo múltiples con integración de frutales.

Como resultado de lo anterior, en los últimos 30 años se ha evidenciado la transición agroecológica de la fruticultura en Cuba, caracterizada por la integración de otros frutales en empresas de citricultura, la sustitución de agroquímicos por bioproductos en empresas especializadas de cítricos y otros frutales, y las fincas integrales de frutales, proceso que contribuyó a la diversificación de las producciones, al acceso de la población a frutas frescas y al auge de las minindustrias locales (gráfica 6.1a).

Una evidencia de la transición agroecológica en la fruticultura es el incremento notable de la producción de otros frutales en contraste con la de cítricos, que era la predominante; a su vez, la agricultura no estatal (cooperativas y agricultores independientes) pasó a ser la protagonista en la fruticultura del país (gráfica 6.1b). Todo ello ha contribuido, al mismo tiempo, a la popularización de los frutales, al incremento de la producción y el abastecimiento de frutas a la población; así como al uso correcto de áreas

de entidades y organismos estatales, así como de patios de viviendas que se encuentren ociosos; al rescate de la diversidad de especies de frutos tradicionales en el país; a incentivar la colaboración en la reforestación; a conseguir la eficiencia económica de las entidades del sector agropecuario; y a fomentar la agroindustria familiar. Bajo estos criterios se desarrollan otros sistemas que integran frutales, como los del sistema de agricultura urbana y suburbana, producción orgánica, agricultura de montaña, sistemas agroforestales y silvopastoriles (Cueto y Otero 2016, p. 297).

Gráfica 6.1. (a) Transición agroecológica de la fruticultura en Cuba. (b) Comportamiento de las producciones anuales en el país (barras) y de la participación de empresas estatales y cooperativas no estatales



Fuente: Vázquez et al. (2015).

Diseños agroecológicos de sistemas frutícolas múltiples generados por la innovación de agricultores

Una sistematización sobre sistemas frutícolas múltiples realizada en agroecosistemas de Cuba condujo a identificar una diversidad de diseños que evidencian avances en la transformación agroecológica de la fruticultura (tabla 6.1). Aunque este resultado no pretende establecer una clasificación de los tipos de sistemas frutícolas múltiples porque está basado en observaciones registradas a través de innovaciones que se realizaron propósitos diferentes, es posible considerarlo como una aproximación preliminar al problema. Así pues, según el nivel de escalado, existen tres tipos diferentes de sistemas frutícolas múltiples: (a) campos de cultivo y potreros de

ganadería agroecológica; (b) fincas u otras unidades de producción; y (c) comunidades.

Tabla 6.1. *Aproximación a los principales tipos de sistemas frutícolas múltiples existentes en agroecosistemas de Cuba**

<i>Tipos</i>	<i>Diseño genético</i>	<i>Diseño espacial</i>
<i>Sistemas de cultivo y de ganadería</i>		
Frutales en policultivos agrícolas	Especies frutícolas básicas**	Frutales en surcos espaciados. Entre surcos, siembras de una o más especies de cultivos agrícolas.
Polifrutal	Especies frutícolas básicas	Marco de plantación de cada especie o diseño mixto.
Agroforestal de café y cacao tradicional	Diversidad de especies frutícolas***	Los cafetos y cacaoteros se plantan según marco establecido. Con este propósito, los árboles de sombra son de especies establecidas. Los árboles frutales se intercalan sin un diseño específico.
Pastoreo bajo frutales	Especies frutícolas básicas	Generalmente, con marco de plantación de las especies integradas.
Frutales integrados en potreros	Diversidad de especies frutícolas	Se integran entre los árboles forrajeros, de sombra y en la cerca viva.
<i>Fincas u otras unidades de producción</i>		
Fincas integrales	Diversidad de especies frutícolas	Fincas que integran frutales en campos, arboledas, cercas vivas u otros sitios.
Finca de frutales	Especies frutícolas básicas	Fincas que integran frutales en campos específicos.
Fincas agroforestales	Diversidad de especies frutícolas	Los frutales se integran en arboledas, en hileras, grupos o dispersos.
Patios y parcelas	Diversidad de especies frutícolas	Los frutales se integran dispersos.
<i>Comunidades</i>		
Comunidades rurales	Diversidad de especies frutícolas	Los frutales se integran dispersos, principalmente, en patios familiares.
Zonas periurbanas		

Nota: * Sistematizados en fincas campesinas rurales y urbanas. Proyectos: (a) Apoyo a la implementación de sistemas integrados y articulados para la producción agropecuaria en el ámbito de la agricultura urbana, suburbana y familiar de La Habana (SIGA) (2016 en adelante); (b) Prácticas agropecuarias sostenibles adaptadas al cambio climático en la provincia Guantánamo (2015-2017); (c) Mejora de la disponibilidad alimentaria en tres municipios de las provincias Santiago de Cuba y Guantánamo (RedAR) (2019-2021); (d) Acelerar la Producción Sostenible de Alimentos en Municipios Cubanos (PROSAM) (2016-2021); (e) Apoyo a la seguridad alimentaria y nutricional de dos municipios de Camagüey con enfoque de género y generacional (CAPROCA) (2021-2024). ** Incluidas en los planes de producción, demanda de la comercialización, industrias y minindustrias; por ejemplo: mango, guayaba, aguacatero, fruta bomba, piña. *** Además de las básicas, especies tradicionales.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la diversidad de características del diseño genético (especies que se integran) y espacial (ubicación de las especies) se pueden observar en prácticamente todo el país, ya sea en zonas urbanas, periurbanas, rurales o de montaña, cuyo diseño temporal (momento en que se plantan) también es muy variado. Esta valiosa fuente de conocimiento tácito se puede considerar un laboratorio que sirve de base científica para estudiar la adaptación transformativa de la fruticultura del futuro ante los cambios climáticos. Esto apunta a la necesidad de reevaluar la tecnología autóctona como fuente clave de información sobre la capacidad adaptativa, centrada en la selectividad, y las capacidades experimentales y resilientes de los agricultores para hacer frente al cambio climático (Altieri y Koohafkan, 2008, p. 14).

Las ventajas en comparación con monocultivos frutícolas, según la percepción de los agricultores y técnicos locales, se sintetizan a continuación (por supuesto, redactadas en lenguaje científico a partir de la interpretación de lo expresado):

- Facilitación de la autorregulación ecológica: organismos nocivos, arvenses, microclima, ciclo de nutrientes.
- Facilitación de la estabilidad de la biota asociada con funciones positivas: enemigos naturales, polinizadores, microbiota rizosférica, biota del suelo, microbiota epifítica.
- Mejor calidad de productos: menos intervenciones físicas en el campo, no utilización de plaguicidas y herbicidas, desarrollo del cultivo bajo un hábitat seminatural.
- Facilitación de la integración y sinergias entre bioproductos: abonos orgánicos, biofertilizantes, bioplaguicidas.
- Menor costo de producción: deshierbes, control fitosanitario, riego.
- Facilitación de la resistencia asociativa ante eventos hidrometeorológicos extremos: sequía, lluvias intensas, vientos fuertes.
- Mayor rendimiento por campo: aprovechamiento del terreno, más de un cultivo y reducción de estrés climático debido al efecto del acompañamiento de cultivos.
- Mayor oportunidad de cosecha: especies de fenología y ciclos productivos que producen en diferentes temporadas.

La mayoría de estos diseños han sido generados por agricultores innovadores, cuya metodología de experimentación tiene características propias: proyectan y definen mentalmente un diseño inicial que se basa en experiencias anteriores o por observación de otras fincas. El criterio de testigo o variante base para comparar es diferente: se observa y compara con otra finca cercana, donde se haya visto, o bien, se realizan ajustes con base en prueba y rechazo de variantes. Si después de uno o más ciclos productivos el diseño funciona, lo adopta. Cabe señalar que es muy peculiar el criterio de los agricultores para determinar si un diseño de sistema de cultivo múltiple es bueno o necesita mejoras, y para ello se hacen las preguntas siguientes, comparando con los mismos cultivos sin intercalamiento: ¿se reduce, se mantiene igual o aumentan los gastos de producción?, ¿en qué medida cambian los rendimientos productivos?, ¿cómo es la demanda de agua y cómo se comporta ante la sequía?, ¿qué ventajas tiene para la comercialización?, ¿qué puede aprovechar para autoconsumo de la familia y la cría de animales?

También consideran sus conocimientos propios sobre efectos negativos o positivos del acompañamiento de las especies de plantas que se van a integrar: “se llevan bien o no”; principalmente, el crecimiento de sus órganos, los efectos del sol y la sequedad, la respuesta al exceso de agua, los problemas fitosanitarios que presenta, entre otros criterios que son analizados integralmente, valorando posibles desventajas y ventajas, hasta que estas últimas deciden su realización. Un factor de importancia se refiere a los problemas fitosanitarios. Los agricultores han aprendido a no integrar plantas de la misma familia y valorar a los frutales permanentes como barreras vivas ante poblaciones inmigrantes; sin embargo, al inicio se presentaron problemas con fitopatógenos y fitonemátodos en el suelo, situación que han solucionado progresivamente mediante las siguientes acciones: mayor interacción con los técnicos fitosanitarios, rotación previa con abonos verdes, chequeo de la calidad de las plántulas y preparación del hoyo de plantación con abonos orgánicos y bioplaguicidas microbiológicos.

Debido a que en estos diseños se integran frutales que son especies permanentes, las experiencias anteriores, las referencias de otros agricultores y las orientaciones de los técnicos son muy importantes; aunque normalmente realizan algunos ajustes en los diseños espaciales y temporales

según aspectos negativos y positivos que observan. En el caso de la integración de cultivos temporales y anuales en campos de frutales, su capacidad de innovación es profusa, logrando diseños con elevada sostenibilidad. Esto significa que ningún diseño de sistema de cultivo frutícola múltiple es igual al otro, incluso en una misma finca. Esta característica en la metodología de innovación campesina es la que determina la mayor capacidad adaptativa de tales sistemas de cultivo a las condiciones propias de cada agroecosistema y del cambio climático.

De acuerdo con Wilken (citado en Altieri y Koohafkan, 2008, p. 2), los sistemas agrícolas tradicionales se han ido conformando durante siglos a partir de una coevolución cultural y biológica, y representan la experiencia acumulada de los campesinos en su interacción con el medioambiente, sin contar con insumos externos ni con capitales ni con el denominado saber científico. Haciendo uso de una autonomía ingeniosa, de un saber vivencial y de unos recursos cercanos, los campesinos han creado sistemas agrícolas sobre la base de una diversidad de cultivos, de árboles y de crianza de animales en el espacio y en el tiempo, lo que les ha permitido maximizar la seguridad de las cosechas en medios marginales y variables, con un espacio y recursos limitados.

Aunque los sistemas frutícolas múltiples han sido generados por agricultores (aspecto no siempre reconocido social y científicamente), varios centros científicos, universidades, proyectos y programas de desarrollo local han realizado estudios para caracterizarlos y mejorar su manejo, al tiempo que han facilitado el acceso a financiamiento para extenderlos, entre otras acciones que evidencian sus valores. Es imperativo tener una mejor comprensión sobre cómo sostener los sistemas de competencias agrícolas indígenas y combinarlos con el conocimiento científico, además de encontrar la manera de traducir esto en la toma de decisiones de procesos que brinden el soporte necesario para los pueblos locales (Altieri y Koohafkan, 2008, p. 55).

Multifunciones ecológicas de sistemas frutícolas múltiples

Para evidenciar la contribución de sistemas frutícolas múltiples a la regulación ecológica, se ofrece a continuación una caracterización funcional de

varios sistemas representativos en territorios de Cuba; principalmente, policultivos que integran frutales y sistemas de polifrutales. Se valoraron las funciones de regulación ecológica (FRE), ajustadas por Vázquez et al., (2015, p. 2), que presentamos a continuación:

- FRE1: Barrera física a poblaciones de organismos nocivos (insectos, ácaros, esporas de microorganismos y otros).
- FRE2: Confusión para el desplazamiento y la localización de hospedantes por insectos fitófagos (color, olor, estructura, otros).
- FRE3: Reducción de la concentración de hospedantes preferidos de insectos, ácaros, microorganismos fitopatógenos y otros organismos nocivos (especies no hospedantes).
- FRE4: Flores y exudados como fuente de alimentación de adultos artrópodos entomófagos.
- FRE5: Facilitación de refugio y desplazamiento de artrópodos entomófagos (reservorio y corredor ecológico).
- FRE6: Mejora el contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo.
- FRE7: Facilita un microclima favorable.
- FRE8: Retención de humedad en el suelo.
- FRE9: Regulación de corrientes de aire.
- FRE10: Reducción de la erosión del suelo.
- FRE11: Regulación de arvenses.
- FRE12: Resistencia asociativa a vientos fuertes.

Cada diseño se estudió en una sesión de trabajo en la propia finca con la participación del agricultor, varios técnicos locales e investigadores. Se realizaron observaciones y preguntas al agricultor, combinadas con valoraciones colectivas para determinar, según consenso, la contribución de cada diseño a las funciones ecológicas, utilizando la escala relativa siguiente: (4) muy alta, (3) alta, (2) media, (1) baja, (0) ninguna o no percibida. Para cada diseño estudiado se determinó el coeficiente funcional (CF) mediante la siguiente expresión:

$$CF = \sum [(1 \times n) + (2 \times n) + (3 \times n) + (4 \times n)] / 12 (4)$$

Donde n es el número de FRE con cada valor de la escala; 12 es el total de FRE, y 4 es el valor mayor de la escala utilizada. Para los efectos del pre-

sente estudio, el coeficiente funcional se considera relativamente inferior cuando está por debajo de 0.40; medio, entre 0.41 y 0.60; alto, entre 0.61 y 0.80; y muy alto, por encima de 0.80.

Frutales en policultivos agrícolas

Frutales semipermanentes con intercalamiento transitorio de cultivos agrícolas

- Diseño genético y espacial. El cultivo principal fueron surcos de guayaba roja enana (*Psidium guajava*) (imagen 6.1a) con intercalamiento de 2 franjas de 3 surcos cada una de frijol (*Phaseolus vulgaris*) (imagen 6.1b), separadas por un surco de plátano (*Musa spp.*) (imagen 6.1c).

Imagen 6.1. Vista general del diseño de policultivo de frutal semipermanente con intercalamiento temporal de cultivos agrícolas en Guanabacoa, La Habana



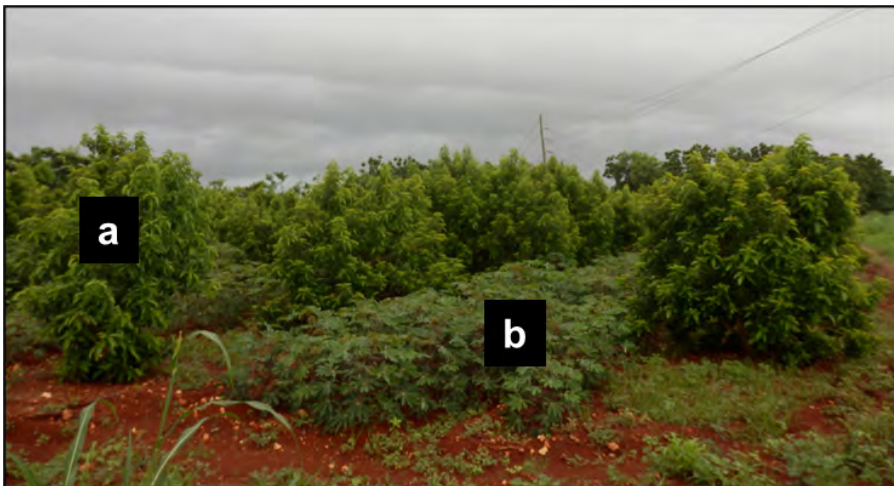
Fuente: Fotografía del autor.

- Diseño temporal. Explotación semipermanente de guayaba enana (aproximadamente, 5-6 años); siembra de cultivos agrícolas temporales mientras se desarrolla el plátano o banano; este último se queda sólo en el centro hasta que concluye el ciclo productivo de la guayaba enana.
- Coeficiente funcional (CF). El diseño facilita todas las funciones estudiadas con un coeficiente funcional medio ($CF = 0.58$) y con mayor contribución a las siguientes funciones: reducción de la concentración de hospedantes preferidos de insectos, ácaros y microorganismos fitopatógenos; mejora el contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo; facilitación de la alimentación de adultos de entomófagos.

Frutales permanentes con intercalamiento transitorio de cultivos agrícolas

- Diseño genético y espacial. El cultivo principal son surcos de aguacatero (*Persea americana*) (imagen 6.2a) en producción con intercalamiento de yuca (*Manihot esculenta*) en 2-3 surcos (imagen 6.2b).

Imagen 6.2. Vista general del diseño de policultivo de frutal permanente con intercalamiento temporal de cultivos agrícolas en Artemisa, Cuba.



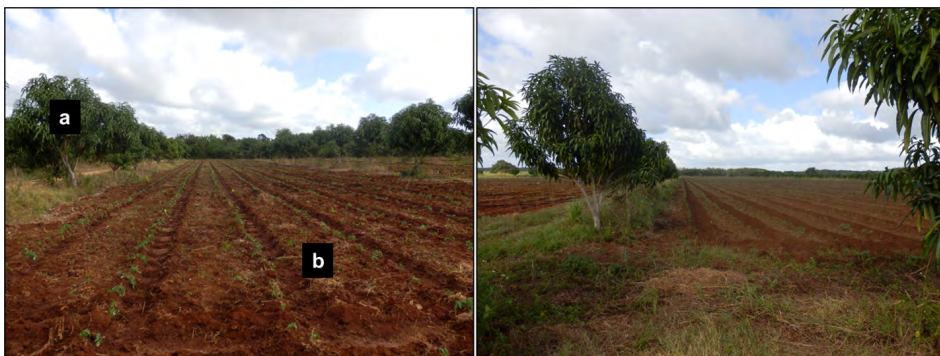
Fuente: Fotografía del autor.

- Diseño temporal. Aguacatero como cultivo principal; siembra de cultivos agrícolas temporales o anuales mientras éste se desarrolla.
- Coeficiente funcional (CF). El diseño facilita todas las funciones estudiadas, con un coeficiente funcional alto ($CF=0.69$) y con mayor contribución a las funciones: reducción de la concentración de hospedantes preferidos de insectos, ácaros y microorganismos fitopatógenos; mejora el contenido de materia orgánica, retención de humedad y reducción de la erosión del suelo; barrera viva ante organismos nocivos y vientos; regulación de poblaciones de arvenses.

Frutales permanentes como barrera con intercalamiento de cultivos agrícolas

- Diseño genético y espacial. El cultivo principal fue mango (*Mangifera indica*) (imagen 6.3a) en producción con intercalamiento de tomate (*Solanum lycopersicum*) en 8 surcos (imagen 6.3b).

Imagen 6.3. Vista general del diseño de policultivo de frutal permanente como barrera con intercalamiento temporal de cultivos agrícolas en Majagua, Ciego de Ávilat



Fuente: Fotografía del autor.

- Diseño temporal: Mango como cultivo principal con siembra de cultivos agrícolas temporales, anuales y semipermanentes. Existe un diseño de secuencia y rotación de cultivos. En algunos campos se integra piña (*Ananas comusus*).

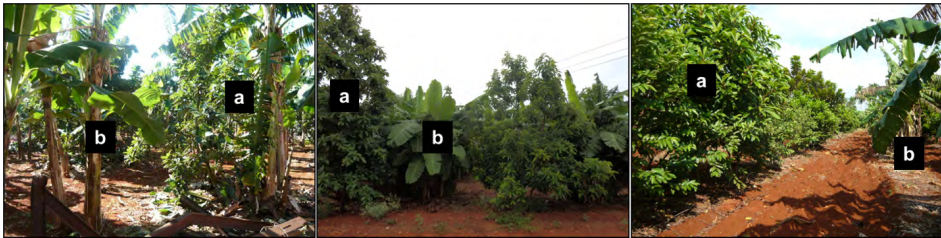
- Coeficiente funcional (CF). El diseño facilita la mayoría de las funciones estudiadas con un coeficiente funcional relativamente bajo ($CF = 0.35$) y con mayor contribución a la función barrera viva ante organismos nocivos y vientos.

Polifrutales

Frutales permanentes con intercalamiento semipermanente de plátano o banano

- Diseño genético y espacial. El terreno se dividió en tres surcos; en el surco principal izquierdo se plantó aguacate y guayaba; en el centro, aguacatero; en el derecho, mamey y guayaba (imagen 6.4a); entre surcos de frutales, se extiende un surco central de plátano o banano (imagen 6.4b).

Imagen 6.4. Vista general del diseño de polifrutal que integra frutales permanentes y semipermanentes con intercalamiento semipermanente de plátano o banano en Bejuical, Mayabeque



Fuente: Fotografía del autor.

- Diseño temporal. Cuando el frutal permanente alcanza mayor desarrollo de la copa se eliminan la guayaba enana y el plátano o banano.
- Coeficiente funcional (CF). El diseño facilita todas las funciones estudiadas con un coeficiente funcional muy alto ($CF = 0.85$). El plátano o banano contribuye con funciones de retención de humedad y confusión de poblaciones inmigrantes de plagas por insectos.

Frutales permanentes y semipermanentes intercalados

- Diseño genético y espacial. El surco principal lleva aguacate o mango, con intercalamiento de guayaba enana entre plantas del surco principal y entre surcos (imagen 6.5).

Imagen 6.5. Vista general del diseño de polifrutal que integra frutales permanentes y semipermanentes en Bejucal, Mayabeque



Fuente: Fotografía del autor.

- Diseño temporal. Cuando los frutales permanentes alcanzan mayor desarrollo de la copa se elimina la guayaba enana.
- Coeficiente funcional (CF). El diseño facilita todas las funciones estudiadas con un coeficiente funcional muy alto ($CF = 0.81$).

Entre los diseños antes estudiados, los policultivos que integran frutales, cultivos agrícolas anuales y temporales obtuvieron menores coeficientes funcionales que los polifrutales, debido principalmente a que los primeros tienen como caracteres funcionales diferenciales mayor contraste altitudinal y una dinámica temporal entre las especies integradas; en cambio, los segundos son más uniformes respecto a la altura y su dinámica temporal es baja porque son cultivos permanentes o semipermanentes. Sin embargo, aunque los polifrutales tienen mayor capacidad de autorregulación ecológica, los policultivos que integran frutales facilitan el acceso a mercados durante mayor tiempo, a causa de la diversidad de especies productivas y de momentos de cosecha.

Estas características sugieren que las fincas deberían integrar diferentes tipos de diseños de sistemas frutícolas múltiples porque, además del conjunto de funciones de regulación ecológica de los diseños, la diversidad de

especies integradas y dinámica de cosechas facilitan el acceso a diferentes mercados y minindustrias, a la vez que contribuyen durante mayor tiempo en el año la alimentación de la familia.

Un tipo de policultivo que se ha ido popularizando en Cuba es el de cultivos en franjas, por la facilidad que proporciona al manejo con la tracción animal. También a los frutales perennes se les ha integrado cultivos de ciclo corto como el frijol común, leguminosas de grano, boniato, calabaza y, en menor grado, abonos verdes como la canavalia, buscando disminuir los costos por establecimiento del cultivo perenne, que demora algunos años previos a la ocupación de su área agrícola (Leyva et al., 2016, p. 223).

Otra experiencia exitosa relacionada con un sistema policultural de frutales perennes y no perennes con cultivos anuales consiste en sembrar un frutal perenne de porte alto (mango o aguacate, con arreglos de 10×10 m entre plantas): se utilizan dos de guayaba enana y dos de papaya al centro de los surcos, mientras el fríjol es aprovechado en los espacios centrales de las entrecalles (Leyva et al., 2016, p. 223).

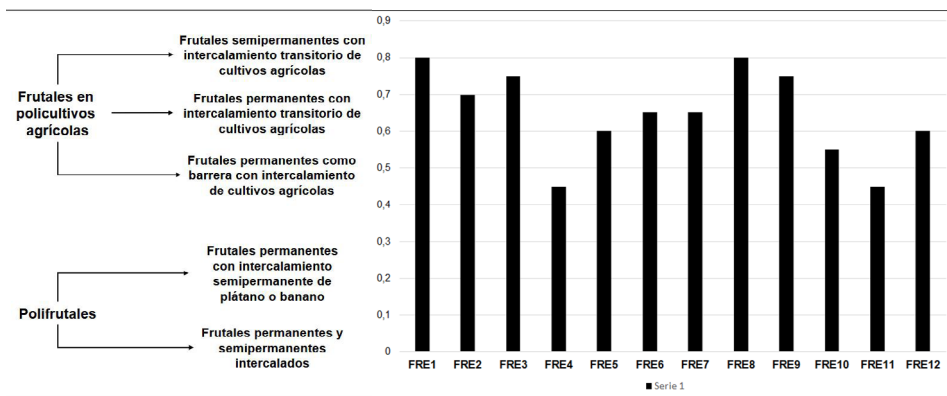
Las siembras que se realizan con monocultivos usan los recursos ambientales de distintas maneras; cuando se siembran juntas pueden “complementarse” entre sí y hacer un mejor uso combinado de los recursos que por sí solas. Según Pret (citado por Alvez y Alayón, 2020, p. 274), en el diseño de sistemas de cultivo que imiten la naturaleza puede hacerse un uso óptimo de la luz solar, de los nutrientes del suelo y de la lluvia.

En este sentido, evaluar sistemas agroproductivos con atención en las características específicas del sistema y en sus interrelaciones, permite entender la importancia de las sinergias para mantener el sistema en equilibrio, en producción constante y sin convertirse en una amenaza para la sostenibilidad (Silva-Laya et al., 2016, p. 365).

En los diseños antes estudiados, las funciones de barrera física a poblaciones de organismos nocivos (FRE1) y retención de humedad en el suelo (FRE8) predominaron entre las identificadas; seguidas por la reducción de la concentración de hospedantes preferidos de insectos, ácaros, microorganismos fitopatógenos y otros organismos nocivos (FRE3) y la regulación de corrientes de aire (FRE9), entre otras. Estos resultados evidencian la posibilidad de diseñar sistemas frutícolas múltiples que consideren caracteres funcionales diferenciales de las especies de cultivos que se integran en el campo,

así como sistemas que aporten el diseño temporal y espacial al realizarlos para propiciar las funciones de regulación ecológica necesaria.

Gráfica 6.2. Frecuencia en la identificación de funciones de regulación ecológica (FRE) en los diseños de sistemas de cultivo frutícolas múltiples estudiados



Fuente: Elaboración propia.

De hecho, un estudio realizado en 24 sistemas de cultivos múltiples en fincas suburbanas de diferentes territorios agrícolas de la región occidental, central y oriental de Cuba, caracterizó el diseño genético, espacial y temporal de policultivos, determinando el mayor coeficiente funcional para la regulación de plagas por el diseño que integra yuca-maíz-frijol (86.7 %); le siguen los diseños de boniato-maíz y yuca-maíz (76.7 %); plátanos-yuca (73.3 %); frijol-maíz y plátano-frijol-maíz (70 %); y aguacate-mamey-café (66.7 %); lo que determina como tipos funcionales de plantas en estos diseños al maíz, al plátano y los árboles frutales (Vázquez et al., 2015, p. 1).

Estudios realizados por Cueto y Otero (2016, p. 305) en áreas de cítricos convencionales, han establecido especies tales como teramnus (*Teramnus labialis*) y glycine. En guayaba (*Psidium guajava*) se han obtenido excelentes resultados con dolichos (*Lablab purpureus*) y diferentes especies de crotalaria (*Crotalaria* spp.), que a su vez tienen un efecto nematicida. También nos informan que los cocoteros, especies como glycine, kudzú tropical y centro (*Centrosema pubescens*), son consideradas plantas promisorias para la incorporación en el manejo de los suelos y su diversificación, en conjunto con la cría de animales dentro de las plantaciones de este

frutal; además, se han tomado medidas de protección de especies de leguminosas espontáneas en el campo como el caso de las especies *Alysicarpus vaginalis* y *Desmodium* spp.

Se ha comprobado que las leguminosas herbáceas en policultivo con guayabos forman coberturas que reducen la presencia de arvenses de las plantaciones, además de aportar materia orgánica y nitrógeno al suelo (Fontes et al., 2018, p. 305). Entre estas leguminosas se destaca *Teramnus labialis* (L. f.) Spreng, que además es una planta altamente preferida por los ovinos de pastoreo para su consumo; en unión con otras plantas naturales del ecosistema, aportan nutrientes que permiten ganancias de peso superiores a los 100 g por animal al día en los sistemas integrados de ovinos y cítricos (Mazorra, 2006). El sistema que integra guayaba, leguminosa y ovino logra diversificar las producciones y amortizar los gastos de producción, especialmente cuando los rendimientos agrícolas son bajos, ya sea por causas ambientales o fisiológicas (Mazorra et al, 2020, p. 11).

Uno de los principales diseños que realizan fincas campesinas en transición agroecológica en zonas suburbanas de la provincia La Habana es el silvopastoreo de aves de corral de razas semirústicas, ya que logra una alta capacidad de resistencia a las sequías, puesto que además de que las razas son más tolerantes, el área de pastoreo posee un microclima fresco. El diseño consiste en comunicar los corrales con campos de frutales cercados, facilitando que las aves se desplacen libremente debajo de los árboles, a la vez que tienen acceso al corral (Vázquez et al., 2019, p. 27). La diversidad de estos sistemas, la creatividad y el conocimiento de agricultores familiares y comunidades indígenas son activos de gran valor para resolver los abruptos problemas que afectan la agricultura en el siglo XXI (Altieri y Koohafkan, 2008, p. 6).

Referencias

- Altieri, M., y Koohafkan, P. (2008). *Enduring farms: climate change, smallholders and traditional farming communities*. Third World Network.
- Alvez, N. V., y Alayón, P. (2020). Evaluación de policultivos frutihortícolas agroecológicos del Nordeste Argentino. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 55(2), 273-284. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v55.n2.26899>

- Anaya, B., Diana, C., Fernández, E., García, A., González, G., Muiño, B. L. Nova, A., y Royce, F. S. (2016). *Conviviendo con el HLB: la diversificación de la industria cítrica en Cuba*. Center for Latin American Studies and Institute for Food & Agricultural Sciences.
- Cueto, J. R., y Otero, L. (2016). Fruticultura y Agroecología. En F. Fuentes y L. L. Vázquez (Eds.), *Avances de la Agroecología en Cuba* [pp. 295-312]. Universidad Nacional de la Plata.
- Fontes, D., Mazorra, C., Acosta, Y., Pardo, J., Martínez, J., Hernández, J., González, A., Fernández, P., y Lavigne, C. (2018). Comportamiento productivo de coberturas vivas de leguminosas herbáceas en una plantación de guayaba (*Psidium guajava* L.) var. Enana Roja cubana EEA-1840. *Revista Universidad y Ciencia*, 7(2), 297-308.
- Leyva, A., Páez, E., y Casanova, A. (2016). Rotación y policultivos. En F. Fuentes y L. L. Vázquez (Eds.), *Avances de la Agroecología en Cuba* [pp. 213-230]. Universidad Nacional de la Plata.
- Mazorra, C. A., Martínez, J., Fontes, D., Santiago, F., González, A., y Acosta, Y. (2020). Viabilidad tecnológica y económica del sistema integrado Guayaba-Leguminosa-Ovino en Ciego de Ávila, Cuba. *Revista de Producción Animal*, 32(1).
- Mazorra, C. (2006). *Manejo de la selección del alimento para reducir el ramoneo de ovinos integrados a plantaciones de cítricos* [Tesis doctoral, Universidad de Ciego de Ávila].
- Rodríguez, A., Jardines, D., Farrés, E., Placeres, J., Peña, O., Fornaris, L. M., Capote, M., González, C., Rodríguez, J. L., Hernández D. y Pérez, G. (2009). Las fincas integrales de frutales en Cuba. *Revista CitriFruit*, 26(1), 52-55.
- Silva-Laya, S. J., Pérez-Martínez, S., y Ríos, L. A. (2016). Evaluación agroecológica de sistemas hortícolas de dos zonas del oriente antioqueño, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10, 355-366.
- Vázquez, L. L., Castellanos, A., y Leiva, V. (2019). *Transición agroecológica y resiliencia socioecológica a sequías en Cuba* [Celia Boletín Científico, 3]. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA).
- Vázquez, L. L., Porras, A., y Alfonso-Simonetti, J. (2015). Tipos funcionales de plantas productivas integradas en diseños de sistemas de cultivos complejos innovados por agricultores. En F. Fuentes y L. L. Vázquez (Eds.), *Avances de la Agroecología en Cuba*. Universidad Nacional de la Plata.

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



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

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

Resumen

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

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

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

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

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

Introducción

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

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

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

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

Por otra parte, la emisión de gases de efecto invernadero es consistente y se prevé un aumento de al menos 2°C respecto al valor previo a la Revolución Industrial (Stern, 2008). Todas estas alteraciones, en su conjunto, anticipan consecuencias negativas en los rendimientos de cultivos agrícolas, si se tiene en cuenta los escasos esfuerzos gubernamentales por mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y CO₂ (Luck et al., 2011). En este sentido, el cambio climático ya presenta efectos negativos en los rendimientos de diversos cultivos como el café y otras especies (Seo y Mendelsohn 2008; Craparo et al., 2015). Es posible que en un inicio el calentamiento moderado del planeta beneficie la producción de cultivos en las regiones templadas y perjudique a las regiones semiáridas y tropicales. Sin embargo, si el calentamiento continúa más allá de la mitad del siglo, la producción en todas las regiones del planeta se verá afectada de manera negativa (Tubiello y Rosenzweig, 2008); la vulnerabilidad de los países dependerá, entre otras cosas, de sus condiciones geográficas y del tipo de cultivos que produzcan o puedan producir.

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

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

Los insectos son organismos con metabolismo ectotérmico; es decir, dependen principalmente de fuentes de calor externas y su temperatura corporal está regulada por los cambios de la misma en el medio ambiente; por lo que el efecto directo del cambio climático sobre los insectos se ha asociado, principalmente, al incremento de la temperatura, aunado a cambios en el régimen de precipitación, las concentraciones de CO₂ atmosférico y el aumento en la radiación, sin dejar de lado las interacciones planta-herbívoros y sus enemigos naturales (Quesada-Moraga, 2011). Un aspecto relevante derivado de las concentraciones de CO₂ es la relación carbono-nitrógeno (C:N) en el suelo, ya que el incremento de C:N disminuye la calidad nutrimental del material vegetal y esto puede ocasionar cambios en el comportamiento y desarrollo de las plagas, con una mayor repercusión en los insectos masticadores, que en insectos chupadores (Ji et al., 2011).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Batrocera dorsalis* y *Ceratitis capitata

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

Rhynchophorus ferrugineus

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

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

Diaphorina citri

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

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

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

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

Fusarium oxysporum

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

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

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

***Phytophthora spp* y otros oomicetos**

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

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

Roya del caféto *Hemileia vastarix*

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

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

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

Consideraciones finales

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Referencias

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

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

- for elevational patterns of species richness and distribution of scarab beetles in Costa Rica. *Diversity and Distributions*, 18(6), 543-553.
- Ge, X., He, S., Wang, T., Yan, W., y Zong, S. (2015). Potential distribution predicted for *Rhynchophorus ferrugineus* in China under different climate warming scenarios. *PLOS One*, 10(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141111>
- Gourdji, S., Sibley, A., y Lobell, D. (2013). Global Crop Exposure to Critical High Temperatures in the Reproductive Period: Historical Trends and Future Projections. *Environmental Research Letters*, 8(2).
- Guerrero-Carrera, J., Jaramillo-Villanueva, J., Mora-Rivera, J., Bustamante-González, A., Vargas-López, S., y Chulim-Estrella, N. (2020). Impacto del cambio climático sobre la producción de café. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(71), 1-18.
- Gullino, M., Pugliese, M., Gilardi, G., y Garibaldi, A. (2018). Effect of increased CO₂ and temperature on plant diseases: A critical appraisal of results obtained in studies carried out under controlled environment facilities. *Journal of Plant Pathology*, 100, 371-389.
- Ghini, R., Hamada, E., Junior, M., Marengo, J., y Goncalves, R. (2008). Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43, 187-194.
- Halbert, S., Manjunath, K., Ramadugu, C., Brodie, M., Webb, S., y Lee, R. (2010). Remolques que transportan naranjas a las plantas de procesamiento mueven psílicos asiáticos de los cítricos. *Florida Entomology*, 93, 33-38.
- Heinemann, J., Massaro, M., Coray, D., Agapito-Tenfen, S., y Wen, J. (2013). Sustainability and innovation in staple crop production in the US Midwest. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 12(1), 71-88.
- Ibarra-Zapata, E., Aguirre-Salado, C. A., Miranda-Aragón, L., Escoto-Rodríguez, M., Loredano-Osh, C., Mora Aguilera, G., y González-Gómez, R. (2021). Análisis geoespacial fitosanitario de la Fusariosis de las Musáceas a nivel global, con énfasis en América Pantropical. *Investigaciones Geográficas*, 106.
- Imbach, P., Fung, E., Hannah, L., Navarro-Racines, C., Roubik, E., Ricketts, T., Harvey, C., Donatti, C., Laderach, P., Locatelli, B., y Roehrdanz, P. (2017). Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(39), 10438-10442.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). *Climate change 2013: The physical science basis* [Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change]. IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2022). Impacts, Adaptation and Vulnerability. En H.-O. Pörtner, D. Roberts, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem y B. Rama (Eds.), *Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Jenkins, D., Hall, D., y Goenaga, R. (2015). *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) Abundance in Puerto Rico Declines with Elevation. *Journal of Economic Entomology*, 108(1), 252-258.

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

- Rodríguez, A., López, C., Soto, E., Cruz Vargas, M. de la, y García-A., D. (2023). Future spatial distribution of *Diaphorina citri* in Mexico under climate change models. *Ecological Complexity*, 53.
- Rodríguez, M. (s.f.). *Fusarium oxysporum f. sp. Cubense RT4*. El mayor enemigo de las musáceas parece haber llegado al continente americano. CropLife. <https://www.croplifela.org/es/?view=article&id=432&catid=69>
- Rubenstein, D., Heisey, P., Shoemaker, R., Sullivan, J., y Frisvold, G. (2005). *Crop genetic resources: an economic appraisal*. Economic Research Service/USDA.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S., Esker, P., Roberts, N. Mc, y Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3(3), 430-439.
- Salinari, F., Giosuè, S., Rossi, V., Tubiello, F., Rosenzweig, C., y Gullino, M. (2007). Downy mildew outbreaks on grapevine under climate change: Elaboration and application of an empirical-statistical model. *EPPO Bulletin*, 37, 317-326.
- Salinari, F., Giosuè, S., Rettori, A., Rossi, V., Tubiello, F., Spanna, F., Rosenzweig, C., y Gullino, M. (2006). Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. *Global Change Biology*, 12, 1299-1307.
- Sáenz, R., Rehfeldt, G., Crookston, N., Duval, P., Amant, R. St., Beaulieu, J., y Richardson, B. (2010). Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates of Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climate Change*, 102(3), 595-623.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria (2024). *Plagas de vigilancia activa y pasiva*. Senasica. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-de-vigilancia-activa-y-pasiva-111406>
- Stern, N. (2008). The Economics of Climate Change. *American Economic Review*, 98, (2), 1-37.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano G., y Wild, J. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7, 395-402.
- Seo, N., y Mendelsohn, R. (2008). Measuring Impacts and Adaptations to Climate Change: a Structural Ricardian Model of African Livestock Management. *Agricultural Economics*, 38(2), 151-165.
- Shaw, M., y Osborne, T. (2011). Distribución geográfica de patógenos de plantas en respuesta al cambio climático. *Plant Pathology*, 60, 31-43.
- Telenchana-Paucar, N. (2020). Modelo predictivo del impacto del cambio climático sobre la distribución y abundancia de una especie de Noctuidae asociada con el cultivo de maíz (*Zea mays*) [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato].
- Trebicki, P. (2020). Climate change and plant virus epidemiology. *Virus Research*, 286.
- Trebicki, P., Vandeger, R., Bosque-Pérez, N., Powell, K., Dader, B., Freeman, A., Yen, A., Fitzgerald, G., y Luck, J. (2016). Virus infection mediates the effects of elevated CO₂ on plants and vectors. *Scientific Reports*, 6.
- Tubiello, F., y Rosenzweig, C. (2008). Developing climate change impact metrics for agriculture. *Integrated Assessment*, 8(1):165-184.
- Tonnang, H., Mohamed, S., Khamis, F., y Ekesi, S. (2015). Identification and risk as-

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

8. Dinámica espacial entre *Coffea arabica* Linneo y *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner bajo el cambio climático



ISMAEL QUIROZ GUERRERO
JUAN GUILLERMO CRUZ CASTILLO

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.08>

Resumen

El agroecosistema café es sensible a la variación climática debido a la dependencia del cafeto respecto a las precipitaciones. La producción de café se distribuye principalmente en zonas geográficamente expuestas al aumento de la temperatura. Existen estudios que indican que el área actual de cultivo de *C. arabica* será afectada severamente debido a la reducción de las condiciones ambientales favorables para su cultivo. En el presente estudio, se llevó a cabo una modelación del impacto del cambio climático y su efecto en la distribución de *C. arabica* y *C. canephora*. Se modeló con base en proyecciones climáticas del periodo 2021-2041 para el modelo climático global Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6). Para *C. arabica*, se muestra un aumento en la superficie con condiciones poco favorables para su producción. En el Municipio de Tezonapa, Veracruz, para el caso de *C. canephora* durante el periodo 2021-2041, el cambio climático generará una disminución del área propicia para este plantío y lo repliega con dirección a las laderas montañosas.

Palabras clave: *producción de café, cambio climático, Veracruz.*

* Doctorado en Ciencias, especialista en Agroecosistemas Tropicales. Profesor, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4687-3221>

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

Introducción

El cambio climático es definido como la variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades que persiste durante largos periodos, generalmente decenios o periodos más largos (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático [IPCC, por sus siglas en inglés], 2013). El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes por la composición de la atmósfera o del uso del suelo (IPCC, 2013).

El cambio climático también implica un conjunto de riesgos relacionados con el clima y su aumento significativo en un contexto de medios de subsistencia y de inseguridad alimentaria. Los grupos sociales históricamente desfavorecidos como pueblos indígenas o comunidades dependientes de la agricultura de subsistencia son altamente vulnerables a los efectos del cambio climático. En el contexto de los agroecosistemas, el aumento de 2°C remite a una reducción de la productividad de alimentos de mayor consumo como el maíz, el trigo y el arroz, cuya disminución será significativa en países de África, el sureste asiático, América Central y América del Sur (IPCC, 2013).

Entre la diversidad de agroecosistemas de México, el del café sobresale por la relación que guarda con pueblos originarios y zonas de alta riqueza biocultural. Las principales especies de café cultivadas son *C. arabica* (arábiga) y *C. canephora* (robusta); la primera sobresale por sus características organolépticas en taza, y la segunda es aprovechada principalmente en la industria del café soluble. En el periodo 2017-2021, México produjo 899 000 toneladas de café cereza; del total, Chiapas, con 41 % de la producción, es el principal estado productor ; seguido por el estado de Veracruz, con 24 %, y el estado de Puebla, con 15.3 % (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [Sader], 2023). En el estado de Veracruz, el municipio de Tezonapa es el principal productor de café y, a nivel nacional, es de los municipios con mayor rendimiento con 32 000 toneladas (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera [SIAP], 2021). Cabe destacar que el municipio de

Tezonapa, por sus condiciones geográficas, permite el cultivo de las dos especies principales de café de México (Sader, 2023).

El agroecosistema café es sensible a la variación climática debido a la dependencia del cafeto respecto a las precipitaciones. La producción de café se distribuye principalmente en zonas geográficamente expuestas al aumento de la temperatura, por lo que existe el riesgo de que esas áreas ya no sean adecuadas para su cultivo en la medida en que aumente esta variable climática. Se estima que en los próximos 30 años 75 % de la superficie cultivada con café arábigo y 63 % de la superficie cultivada con robusta se pierda como consecuencia del cambio climático (Sachs et al., 2019). En el caso de Latinoamérica, se considera una reducción de 55 a 62 % de la superficie con café arábigo, principalmente, en áreas con altitud de entre 400 y 700 msnm; sin embargo, existe la posibilidad de que las tierras altas (mayores a 1800 msnm) puedan compensar las pérdidas entre 9 y 13 % de la superficie perdida en áreas con altitud más baja (Sousa et al., 2019).

Otros estudios, como el realizado por Schroth et al. (2015), coinciden en que el área actual de cultivo de *C. arabica* (la especie de café considerada de mayor calidad en taza) será afectada severamente de las reducidas condiciones ambientales favorables para su cultivo. A nivel mundial, países como Indonesia podrían aumentar la producción de café debido a la aparición de nuevas áreas propicias (Schroth et al., 2015).

Ante los escenarios del cambio climático, el agroecosistema café deberá adaptarse a través de ajustes y cambios en los procesos, prácticas y estructuras para moderar los daños potenciales, o para beneficiarse de ellos, con la participación de las instituciones de gobierno y las organizaciones de productores (United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], 2023). Alcanzar la adaptación del agroecosistema permitirá la aparición de la resiliencia que, ante un escenario de cambio, permita al agroecosistema café permanecer dentro de un dominio de estabilidad limitado por umbrales críticos, los cuales podrían estar integrados, principalmente, por variables como la temperatura y la precipitación (Folke, 2006).

Para abordar la dinámica de cambio de un sistema es necesario conceptualizar al agroecosistema con una estructura que pueda ser operacionalizado de la siguiente manera (Walker et al., 2004):

- Latitud. Es la cantidad máxima que se puede cambiar al sistema antes de perder su capacidad de recuperación. Básicamente, es el ancho de la cuenca de atracción. Una cuenca ancha significa que el sistema puede experimentar un mayor número de estados sin alcanzar la transformación.
- Resistencia. Es la facilidad o dificultad para cambiar el sistema. Está relacionada con la topología de la cuenca. Las cuencas profundas de atracción indican que se requieren mayores fuerzas o perturbaciones para cambiar el estado actual a otro.
- Precariedad. Es la trayectoria actual del sistema, la cual lo ubica respecto a un límite o “umbral” que, de ser rebasado, dificulta o imposibilita la recuperación (PR).
- Panarquía. Proceso de influencia sobre el sistema causado por los estados y la dinámica de los (sub) sistemas, en escalas por encima y por debajo de la escala de interés (PA) (Walker et al., 2004).

Actualmente, el agroecosistema café permanece en un estado de equilibrio promovido por el productor, quien busca la homeostasis del sistema a través del control de plagas, enfermedades, arvenses o la nutrición vegetal, por mencionar a algunos (Dekkers, 2015). Sin embargo, en el exterior de ese estado existen una cantidad determinada de conductores potenciales que podrían desplazar la condición actual del agroecosistema a una nueva (Gunderson, 2008; Walker et al., 2004). El cambio climático actúa como conductor a través de la alteración de la temperatura y la precipitación, lo que ejerce una presión a nivel ambiental con el resultado de dirigir al agroecosistema café ante un escenario de cambio en donde se transformaría, de no presentarse la resiliencia, en un nuevo sistema de producción basado en otro cultivo que, a su vez, deberá estar adaptado a las nuevas condiciones ambientales (Gunderson, 2008; Walker et al., 2004).

En el contexto anterior se origina una dinámica de desplazamiento tanto del área ocupada por *C. arabica* como la de *C. canephora*, lo que ocasiona que se modifiquen las áreas de distribución actual de las especies de café. Es por esto que el objetivo del presente trabajo fue analizar la dinámica entre *C. arabica* y *C. canephora* bajo el modelo climático global Centro Euromediterráneo sobre Cambio Climático-Earth System Model 2

(CMCC-ESM2) para el periodo 2021-2041, en la trayectoria socioeconómica compartida 585.

Metodología

Para el tema de la modelación del impacto del cambio climático y su efecto en la distribución de *C. arabica* y *C. canephora* no se consideró colocar una ecuación o fórmula, sobre todo en virtud de que en el caso de Maxent, éste es un *software* para computadora que modela nichos y distribución de especies que aplica técnicas de *machine learning* también llamado modelado de máxima entropía y que es ampliamente utilizado en literatura científica. En este sentido, el principio del modelado estuvo enfocado en detectar los cambios de distribución basados en las condiciones climáticas existentes, incluidas las áreas de distribución potencial y las preferencias climáticas actuales de la especie bajo condiciones climáticas futuras. Se modeló el impacto del cambio climático con base en proyecciones climáticas del periodo 2021-2041 para el modelo climático global CMIP6 (Worldclim, 2022). Se verificó que los datos de condiciones actuales y futuras presentaran los mismos parámetros de propiedades ráster, resolución y vértices. Los datos climáticos fueron extraídos de la base de datos futura de clima mundial e incluyen 19 variables bioclimáticas diarias, mensuales y anuales que corresponden a la trayectoria socioeconómica compartida 585 (ssp, por sus siglas en inglés) la cual describe una tendencia basada en el uso de combustibles fósiles con altos desafíos para la mitigación y bajos desafíos para la adaptación), así como datos combinados entre variables y de estacionalidad. Cada ráster analizado presenta una resolución de 30 s que equivale a 1 km² (Scheldeman y Zonneveld, 2011; Worldclim, 2022).

Aunado a lo anterior, se estableció una línea base para caracterizar la distribución actual con 19 variables climáticas que fueron archivadas en formato **asc*. Cada variable analizada contiene registros hechos en estaciones meteorológicas durante los 30 años comprendidos en el periodo 1970-2000 (Fick y Hijmans et al., 2017). Para determinar la distribución actual y potencial futura de *C. arabica* y *C. canephora*, los datos meteorológicos fueron modelados mediante el software Maxent y su algoritmo de máxima entropía (Schroth et al., 2015; Scheldeman y Zonneveld, 2011).

Dicha modelación fue realizada con base en la identificación de ambientes similares a aquellos donde se cultiva *C. arabica* y *C. canephora*, como áreas de posible incidencia. Los datos de ocurrencia de *C. arabica* y *C. canephora* fueron obtenidos de 34 bases de datos pertenecientes a herbarios, colecciones botánicas y estudios florísticos. También fueron utilizados 52 registros de *C. arabica* y 75 registros para *C. canephora*, ambos del área de estudio. Con los datos de ocurrencia de *C. arabica* y *C. canephora* se realizó un análisis de presencia y ausencia potencial basado en la interacción con las 19 variables ambientales. En el área de estudio se calcularon las similitudes entre los valores ambientales, en cada celda específica, y los valores del nicho de *C. arabica* (Scheldeman y Zonneveld, 2011).

Los resultados fueron proyectados en Q-gis, versión 3.28, y se determinaron isóneas de la distribución de los valores de ocurrencia con valores de 0 a 1, donde los valores cercanos a cero (0) son negativos o de baja probabilidad de ocurrencia ambiental de las especies de café, mientras que los valores cercanos a uno (1) son áreas con alta probabilidad de ocurrencia ambiental para las especies de café (Scheldeman y Zonneveld, 2011).

Análisis estadístico

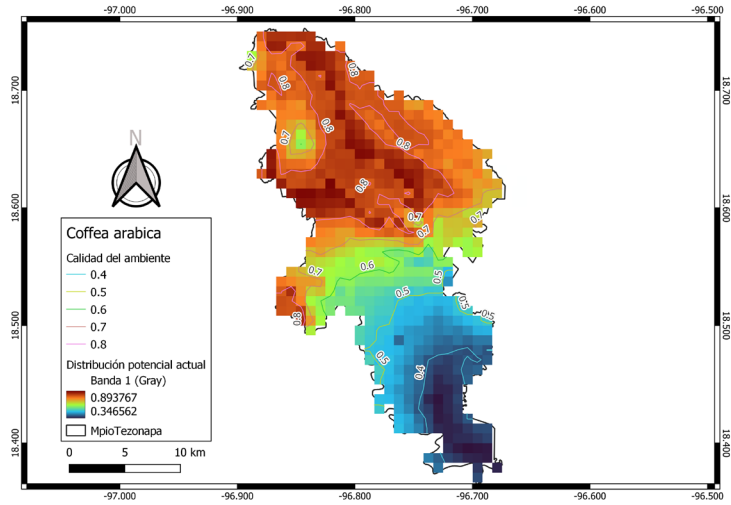
Se utilizaron los valores numéricos distribuidos entre 0-1 de cada pixel proyectado en la cartografía y mediante el empalme de la capa correspondiente al escenario considerado como línea base de clima (1970-2000) y el escenario ssp 585 para el periodo 2021-2041 se obtuvieron las diferencias entre los dos escenarios, las cuales fueron representadas en kilómetros cuadrados.

Resultados y discusiones

Distribución actual y potencial futuro de *Coffea arabica*

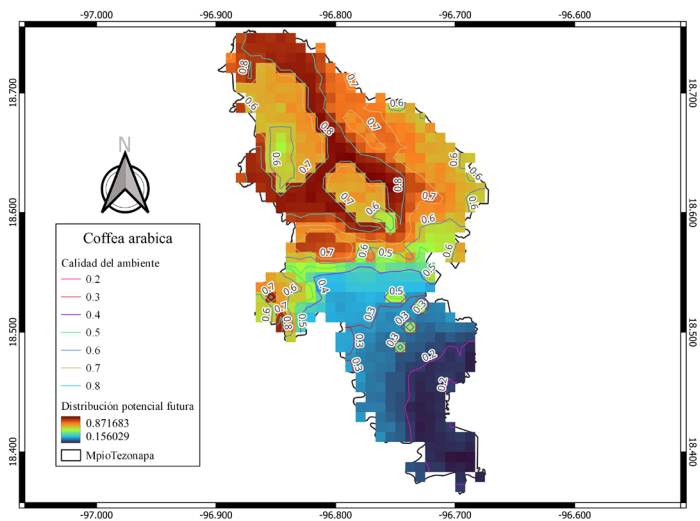
Las condiciones ambientales para la distribución actual de *C. arabica* se encuentran, principalmente, en la zona montañosa del municipio de Te-

Figura 8.1. Distribución actual de *C. arabica* en el municipio de Tezonapa con datos meteorológicos entre los años 1950-2000



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.2. Condiciones ambientales para el cultivo de *C. arabica* bajo el escenario de cambio climático SPP585 para el periodo 2021-2041



Fuente: Elaboración propia.

zonapa, Veracruz, entre los 400 y hasta los 1 580 msnm. Las condiciones que la altitud confiere respecto a la temperatura y la humedad favorecen un ambiente adecuado para el desarrollo de esta especie de café. La frecuencia de condiciones con valores positivos ambientales, en un rango de 0.5 a 0.8 para *C. arabica*, fue de 489 km², y negativo en una superficie de 155 km² (figura 8.1).

En relación con las condiciones futuras (2021-2040), en el municipio se refleja una disminución del área propicia para el cultivo de *C. arabica*. Bajo el escenario 585, las condiciones de precipitación y temperatura cambian; esto tiene como resultado un movimiento en el área, principalmente bajo condiciones ambientales propicias, con valores de 0.8, en una superficie de 101 km²; de 0.7, en una superficie de 80 km²; de 0.6, en 161 km², y de 0.5, en 70 km². Para el área de estudio se estima una disminución de 12 % de la superficie con valores positivos, de 0.5 a 0.8, para el periodo 2021-2041 (figura 8.2).

Los resultados obtenidos sobre los cambios observados en el periodo 2021-2041 remitirán a otros efectos del cambio climático; puesto que, en principio, el café arábigo requiere de sombra, la cual es imprescindible para una buena cosecha. Con frecuencia, el cultivo de arábigo se traslapa con el bosque mesófilo de montaña; las especies arbóreas que integran la estructura de este bioma reducen su distribución actual a causa del cambio climático, principalmente, por la reducción de la humedad (Estrada-Contreras et al., 2015). La superficie de cobertura de bosque mesófilo de montaña perdida se estima en 49 % para el año 2050 (Estrada-Contreras et al., 2015). La sombra en los cafetales es proporcionada principalmente por árboles nativos (Estrada-Contreras et al., 2015), por lo que el cambio climático, al ejercer presión sobre la estructura arbórea, afectará también la distribución de árboles de sombra que actualmente se utilizan en los cafetales y que al no estar presentes exponen a los cafetos a una mayor cantidad de radiación, con la consecuente disminución de calidad de los atributos sensoriales del café (Ahmed et al., 2021). Los árboles de sombra confieren al cultivo de café una estructura que aprovechan otras plantas y animales; lo cual explica una biodiversidad alta asociada al cafetal y una protección a eventos meteorológicos extremos como sequías, ventiscas y lluvias torrenciales. La estructura arbórea también permite evitar problemas de erosión de suelo y de

disminución de fertilidad, mientras que aumenta la tasa de infiltración y retención de agua en el suelo, lo que beneficia directamente a los cafetos establecidos (Acosta-Alba et al., 2019; Muñoz-Villers et al., 2020).

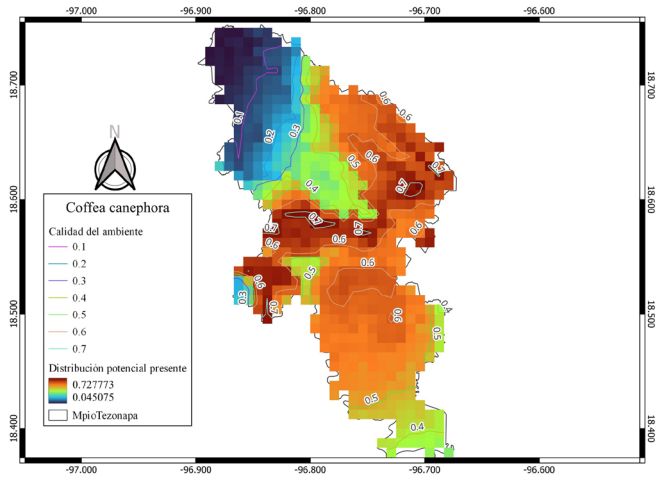
El cambio climático pone en riesgo la calidad de las propiedades organolépticas del café debido a que esta característica aumenta cuando los cafetos se cultivan en altitudes iguales o superiores a los 1 200 msnm en donde se pueden obtener puntajes de catación iguales o mayores a 88 de calidad en taza; sin embargo, dicha calidad está asociada al proceso de maduración lenta del fruto de café, por lo que los cambios en los patrones de temperatura pueden alterar esta característica (Figueira et al., 2015; Guevara-Sánchez et al., 2019).

Distribución actual y potencial futura de *Coffea canephora*

La distribución actual de *C. canephora* se realiza principalmente en la zona del valle y, de manera parcial, en el área montañosa del municipio de Tezonapa, entre los 100 y hasta los 700 msnm. Las condiciones del relieve confieren recursos suficientes que favorecen un ambiente positivo para el desarrollo del café robusta. El área con condiciones y valores ambientales positivos para *C. canephora*, en el rango de 0.8 a 0.5, fue de 385 km². El área con baja probabilidad de condiciones ambientales favorables, con un rango de 0.0 a 0.04, para el café robusta fue de 259 km² (figura 8.3).

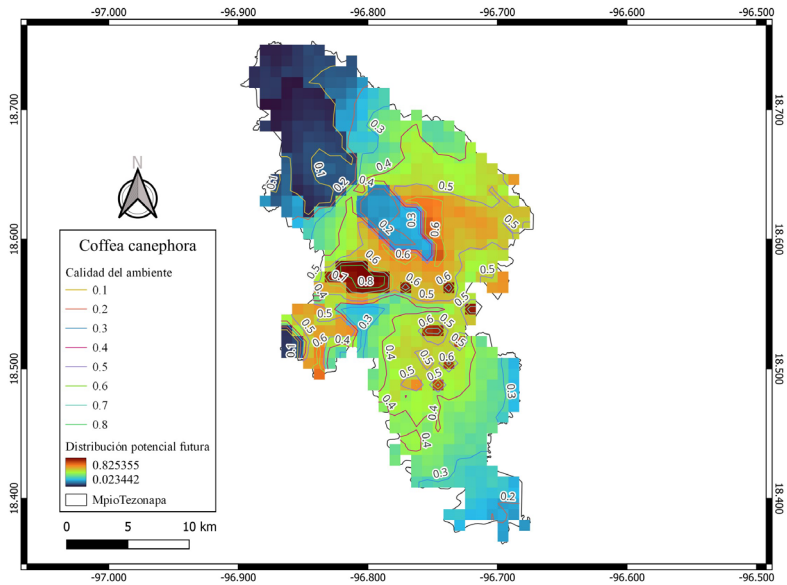
En el periodo 2021-2041, la frecuencia de valores positivos para el desarrollo de *C. canephora* fue de 138 km², mientras que los valores negativos fueron de 506 km², por lo que se tuvo un aumento de la superficie con una baja probabilidad de condiciones favorables para la especie (figura 8.4). El modelado de los efectos del cambio climático en la región mostró una disminución de 38 % de la superficie en condiciones favorables para el crecimiento de *C. canephora*. La disminución del área ambientalmente adecuada para el café robusta pone en riesgo el modo de vida de productores que dependen de este cultivo y de sus recursos naturales, como el suelo, en virtud de que esta especie de café no utiliza árboles de sombra y presenta una tendencia de manejo agronómico de monocultivo, lo que la hace vulnerable ante sequías o precipitaciones extremas, que afectan negativamente

Figura 8.3. Distribución potencial de *C. canephora* en el municipio de Tezonapa con datos meteorológicos entre los años 1950-2000



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.4. Distribución potencial de *C. canephora* para el periodo 2021-2041 bajo el escenario de cambio climático SSP585



Fuente: Elaboración propia.

la fisiología, la floración y la fructificación del café, aunado a la disminución de la productividad (DaMatta y Ramalho, 2006; Silva et al., 2013).

Actualmente, el café robusta es aprovechado para la obtención de café soluble, cuya calidad es menor a la alcanzada por *C. arabica*, por lo que el rendimiento por hectárea es la principal meta de los productores. Existe la posibilidad en el futuro que en zonas aptas para el cultivo de *C. canephora* se logre obtener un buen desempeño debido a que esa especie es resistente a enfermedades, sequías y calor. Sin embargo, los cambios observados en las condiciones ambientales que permiten la ocurrencia de *C. robusta* ocasionarán que los productores establezcan una serie de estrategias de adaptación ante las nuevas condiciones del clima.

En el área en donde se presentaron condiciones ambientales modificadas por el cambio climático para *C. arabica* y *C. canephora* existe el riesgo de que los productores no tengan la capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas; lo que representa una desventaja ante la situación normal de falta de oportunidades. El cambio climático también aumenta el riesgo de la presencia de enfermedades emergentes que amenazan la salud de los productores (Pradhan y Narayanan, 2020) y la de los cafetos, así como un incremento en la incidencia de plagas (Grageda et al., 2014). Las diferentes aristas tocadas por el cambio climático presentan la característica de promover la migración forzada o migración climática que, a un ritmo constante, generará áreas extensas con refugiados climáticos (Pradhan y Narayanan, 2020; Trummer et al., 2023). Sin embargo, existen estrategias de adaptación que los productores pueden gestionar como: el desplazamiento de las fechas de siembra de variedades resistentes a la sequía, aplicar técnicas de conservación de agua y suelo, establecer riego, fomentar el policultivo, incrementar la densidad de árboles nativos de sombra e incrementar la aplicación de técnicas basadas en la agroecología, lo que permitirá maximizar el aprovechamiento de los recursos que el medio les provee (Macheke et al., 2022). Aunado a lo anterior, es posible contribuir a la resiliencia del sistema de producción de café mediante el desarrollo de nuevas capacidades en los productores como: la autoorganización social, una mayor comunicación de experiencias entre productores, el aprendizaje reflexivo, la preservación y fomento de la memoria histórica reciente, la integración del

valor agregado en la cosecha, una mayor interdependencia local y buscar menor dependencia externa (Cabell y Oelofse, 2012).

Conclusiones

El modelado del cambio climático hace posible conocer la dinámica que se genera como resultado del cambio en las condiciones ambientales. En el área de estudio, la distribución potencial futura de *C. arabica* se modifica respecto a la distribución actual, presentándose un aumento en la superficie con condiciones poco favorables para el crecimiento de este tipo de café. Cabe destacar que en el periodo 2021-2041, en el área con condiciones favorables para el crecimiento del *C. arabica*, también se pueden alterar algunas características sensoriales asociadas a la calidad del café.

En cuanto a la especie *C. canephora*, los estados ambientales favorables en la actualidad permiten que existan las condiciones para su cultivo, pero durante el periodo 2021-2041, el cambio climático generaría una disminución del área propicia para este plantío, replegando su cultivo con dirección a las laderas montañosas del municipio; una desventaja asociada a este cultivo es que en la actualidad se establece sin la protección de árboles de sombra debido a que requiere de sol directo para aumentar su producción; esto aumenta significativamente el nivel de exposición y de sensibilidad ante eventos meteorológicos extremos derivados del cambio climático. El área del municipio afectada por el cambio climático tanto para *C. arabica* como para *C. canephora* podría promover, ante la falta de oportunidades, decida la migración de los productores en búsqueda de mejores oportunidades.

Referencias

- Acosta-Alba, I., Boissy, J., Chia, E., y Andrieu, N. (2019). Integrating diversity of smallholder coffee cropping system in environmental analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 252-262.
- Ahmed, S., Brinkley, S., Smith, E., Warne, T., Anderson, E., Dusen, N. V., Giuliano, P., Lonescu, K. E., y Cash, S. (2021). Climate change and coffee quality: systematic review on the effects on environmental and management variation on secondary meta-

- bolites and sensory attributes of *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1-20.
- Cabell, J. F., y Oelofse, M. (2012). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, 17(1), 18. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04666-170118>
- DaMatta, F., y Ramalh, J. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18, 55-81.
- Dekkers, R. (2015). *Applied system theory*. Springer.
- Estrada-Contreras, I., Equihua, M., Catillo-Campos, G., y Rojas, S. (2015). Cambio climático y sus efectos en la vegetación de Veracruz, México: una aproximación mediante modelado de nicho ecológico. *Acta Botánica Mexicana*, 112, 73-93.
- Fick, S., y Hijmans, R. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315.
- Figueira, R., Ribeiro, D., Cirilo A., y Meira, B. (2015). Discrimination of the sensory quality of the *Coffea arabica* L. (cv. Yellow Bourbon) produced in different altitudes using decision trees obtained by the CHAID method. *Journal of Science*, 96(10), 3543-3551.
- Folke, C. (2006). Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253-267.
- Guevara-Sánchez, A., Águila, B. D., Saavedra, R., López, O., y Jackson, J. (2019). Efecto de la altitud en la calidad del café (*Coffea arabica* L.): comparación entre secado mecánico y tradicional. *Scientia Agropecuaria*, 10, 505-510.
- Gunderson, L. (2008). Panarchy. En *Encyclopedia of Ecology* (Vol. 1, pp. 612-616).
- Intergovernmental Pannel on Climate Change (2013). Anexo I: Glosario. En J. B. R. Matthews (Ed.), *Calentamiento global de 1,5 °C*. IPCC.
- Macheka, L., Mudiwa, T., Chopera, P., Nyamwanza, A., y Jacobs, P. (2022). Linking climate change adaptation strategies and nutrition outcomes: A conceptual framework. *Food and Nutrition Bulletin*, 43(2), 201-212. <https://doi.org/10.1177/03795721221078362>
- Muñoz-Villers, L., Geris, J., Alvarado, B., Holwerda, F., y Dawson, T. (2020). Coffee and shade trees show complementary use of soil water in a traditional agroforestry ecosystem. *Hydrology and Earth Systems Sciences*, 24(4), 1649-1668.
- Pradhan, K., y Narayanan, K. (2020). Does climatic risk induce labor migration? Evidence from semi-arid tropics region of India. *Journal of Public Affairs*, 22(1), 1-15.
- Sachs, J., Cordes, K., Rising, J., Toledano, P., y Mailing, N. (2019). Ensuring economic viability and sustainability coffee production. *Columbia Center on Sustainable Investment*. https://scholarship.law.columbia.edu/sustainable_investment_staffpubs/53
- Scheldeman, X., y Zonneveld, M. van (2011). *Manual de capacitación en análisis espacial de diversidad y distribución de plantas*. Bioversity International.
- Schroth G., Landerach, D., Blackburn C., Neilson, J., y Bunn, C. (2015). Winner or loser of climate change? A modeling study of current and future climatic suitability of Arabica coffee in Indonesia. *Regional Environment Change*, 15, 1473-1482.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). *Cultivo de café en México*. Sader. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico>

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021). *Avances de siembras y cosechas*. SIAP. https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/
- Silva, E., Cavatte, P., Morais, L., Medina, E., y DaMatta, F. (2013). The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 87, 49-57.
- Sousa, K. de, Zonneveld, M. van, Holmgren, M., Kindt, R., y Ordoñez, J. (2019). The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica. *Scientific Reports*, 9, 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45491-7>
- Trummer, U., Ali, T., Mosca, D., Mukuruva, B., Mwenyango, H., y Novak-Zezula, S. (2023). Climate change aggravating migration and health issues in African context: the views and direct experiences of a community of interest in the field. *Journal of Migration and Health*, 7, 1-6.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (2023). *Introduction: Adaptation and resilience*. UNFCCC. <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/introduction>
- Walker B., C. S. Holling, S. R. Carpenter, y Kinzig, A. (2004). Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, 9(2).
- WorldClim (s.f.). *Global climate and weather data*. <https://www.worldclim.org/data/index.html>

9. Hongos micorrízicos arbusculares y salud del suelo bajo el sistema milpa intercalada con árboles frutales en la mitigación del cambio climático

TANIA ROMERO FIGUEIRAS*

PABLO ANDRÉS MEZA**

JOAQUÍN MURGUÍA GONZÁLEZ***

ALEJANDRO ESPINOSA CALDERÓN****

OTTO RAÚL LEYVA OVALLE****

RICARDO SERNA LAGUNES****

JULIO DÍAZ JOSÉ****

MIGUEL CEBADA MERINO****

MARÍA ELENA GALINDO TOVAR****

MAURO SIERRA MACÍAS****

MARGARITA TADEO ROBLEDO****

JOSÉ LUIS DEL ROSARIO-ARELLANO****



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.09>

Resumen

Las milpas con árboles han tomado gran importancia debido a que contribuyen a mitigar las adversidades del cambio climático y la degradación del suelo. Cuando las milpas son intercaladas con árboles frutales reciben el nombre de MIAF. En Campo Grande, municipio de Ixtaczoquitlán, Veracruz, se estableció un módulo experimental tipo MIAF con cuatro hileras de

* Maestra en Ciencias en Ingeniería Química. Profesora, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6926-5002>

** Doctor en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Profesor, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0575-0084>

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

**** Doctor en Ciencias en Recursos Genéticos. Profesor, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7128-4712>

**** Doctor en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Profesor, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6150-9367>

**** Doctor en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad en Ganadería. Profesor, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1265-9614>

árboles frutales dispuestos en curvas de nivel, plantados a 1 m de separación entre ellos y 7.8 m entre hileras. Los árboles frutales fueron: durazno (*Prunus persica*), limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) y lichi (*Litchi chinensis*); distribuidos bajo un arreglo de bloques completamente al azar. Se sembró en cada franja lateral a los árboles, y en forma intercalada en hileras, cuatro surcos de maíz y frijol. Se aplicaron 6 tratamientos: (a) Consorcio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) + *Rhizobium etli* (1) + 50% de fertilización mineral (FM); (b) Consorcio de HMA + *Rhizobium etli* (2) + 50% de FM; (c) *Rhizophagus irregularis* + *Rhizobium etli* (1) + 50% de FM; (d) *Rhizophagus irregularis* + *Rhizobium etli* (2) + 50% de FM; (e) 100% de FM (testigo positivo); y (f) 0% de FM (testigo negativo). La formación de consorcios microbianos impulsó la actividad biológica en el suelo, facilitando la descomposición de materia orgánica, la mineralización de nutrientes y la fijación de nitrógeno atmosférico. Estas actividades microbianas contribuyeron a mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas y, favorecieron el crecimiento y el desarrollo de los cultivos.

Palabras clave: *sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), hongos micorrízicos arbusculares, cambio climático.*

Introducción

Los sistemas agroforestales tradicionales (SAFT) incluyen biodiversidad silvestre y domesticada, animales y vegetales manejados por el ser humano

**** Doctor en Problemas Económico-Agroindustriales. Profesor, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0182-8814>

**** Maestría en Horticultura Tropical. Profesor, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6483-304X>

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

**** Doctor en Ciencias Agrícolas y Forestales. Profesor, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6476-2192>

**** Doctora en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Profesora, Universidad Nacional Autónoma de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-8721>

**** Doctor Ciencias Agropecuarias. Profesor, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1768-566X>

(Moreno-Calles et al., 2014), donde árboles se asocian con cultivos agrícolas en espacio y tiempo, lo que genera un equilibrio ecológico y económico entre los componentes del sistema (Duché-García et al., 2021). Sin embargo, los SAFT se encuentran bajo la presión de los sistemas de producción agrícola, pecuaria y forestal de carácter especializado, y de la racionalidad económica que los impulsa. Diversos factores socio-ecológicos asociados a esos sistemas productivos especializados ponen en riesgo a los sistemas agroforestales tradicionales (Boege, 2008).

En este contexto, las milpas son un tipo de sistema agrícola que intercala cultivos como maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), calabaza (*Cucurbita* spp.), chile (*Capsicum* spp.), haba (*Vicia faba* L.) y soya (*Glycine max* L. Mer.) entre otros (Zambrano et al., 2021; Zambrano et al. 2023). Cuando las milpas son intercaladas con árboles frutales reciben el nombre de MIAF (Cortés et al., 2005); este sistema es una tecnología agrícola multiobjetivo para resolver problemas económicos, sociales, ecológicos y de alimentación que aquejan a las familias rurales que siembran en condiciones de laderas (Cortés et al., 2005; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [Sader], 2023). Las milpas con árboles han tomado gran importancia debido a que contribuyen a mitigar las adversidades del cambio climático y la degradación del suelo (Albino, 2014). Estudios recientes demuestran que, más allá de la producción de alimentos, los sistemas agroforestales como el MIAF son cruciales para la adaptación y mitigación climática. Según Hergoualc'h y Verchot (2014), estos sistemas tienen un alto potencial de secuestro de carbono en la biomasa (tanto en los árboles como en los cultivos) y en el suelo, lo que contribuye directamente a la mitigación al reducir los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Además, el aumento de la materia orgánica del suelo, impulsado por las prácticas del MIAF, mejora la capacidad de retención de agua, lo cual es una estrategia clave de adaptación ante la intensificación de las sequías y el estrés hídrico (Lasco et al., 2014).

El sistema MIAF ha tenido buenos resultados en los estados de Oaxaca, Puebla, Veracruz, Chiapas, Guerrero y Estado de México, demostrando su eficacia para reducir la degradación de los suelos, producir granos básicos para la alimentación y frutas para su comercialización, con lo cual mejoran los ingresos familiares (Torres-Zambrano et al., 2008). Además,

permite un aprovechamiento integral del suelo, agua, luz solar, mano de obra familiar, captura de carbono y actividad microbiana, que es básica para mejorar la calidad de los suelos (Cortés et al., 2005; Cadena-Iñiguez et al., 2018).

Por otro lado, el suelo es un complejo de partículas físicas, sustancias y materiales orgánicos que junto con el aire y el agua conforman un recurso esencial para el sostenimiento de la vida de muchos organismos, incluyendo al hombre. El funcionamiento de un ecosistema depende en gran medida de la actividad microbiana del suelo, ya que los microorganismos son los protagonistas de diversas actividades biogeoquímicas benéficas para las plantas a las que se asocian (Jaizme-Vega y Rodríguez-Romero, 2008). Los suelos contienen una amplia variedad de formas biológicas con tamaños muy diferentes, como virus, bacterias, hongos, algas, colémbolos, ácaros, lombrices, nemátodos, hormigas y, por supuesto, las raíces vivas de las plantas vasculares (Andrade-Torres, 2010).

Entre los microorganismos que se encuentran en el suelo están los hongos formadores de micorrizas, conocidos también como hongos micorrízicos arbusculares (HMA) (Lara-Capistrán et al., 2021). Los HMA son microorganismos del suelo que forman una relación simbiótica con 80-90% de especies de plantas vasculares y 90% de plantas agrícolas (Navarro y Ramos-Zapata, 2021), incluyendo la mayoría de los cultivos de importancia económica, particularmente cereales y plantas hortícolas (Diagne et al., 2020).

Los efectos de los hongos micorrízicos arbusculares sobre el crecimiento y sobre los elementos fisiológicos en las plantas han sido ampliamente estudiados en *Solanum lycopersicum*, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *Cucurbita máxima* Duchesne, *Piper longum* L., *Phaseolus vulgaris* L., y algunos árboles frutales como *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. y Nakai, *Prunus cerasifera* L., entre otros. En todas las especies, los hongos micorrízicos arbusculares desbloquean y facilitan la absorción de nutrientes como el nitrógeno (N), zinc (Zn) y fósforo (P) (Kouadio et al., 2017). También brindan protección contra patógenos; a cambio de ello, la planta le cede carbohidratos y proteínas para su sostenimiento metabólico. La planta y el hongo actúan como simbiosis: juntos son capaces de aumentar hasta 25% la producción y no alteran el entorno ambiental. En los ecosistemas débiles y

amenazados, las micorrizas son las principales cooperadoras para el establecimiento y desarrollo de las plantas (Noda, 2009).

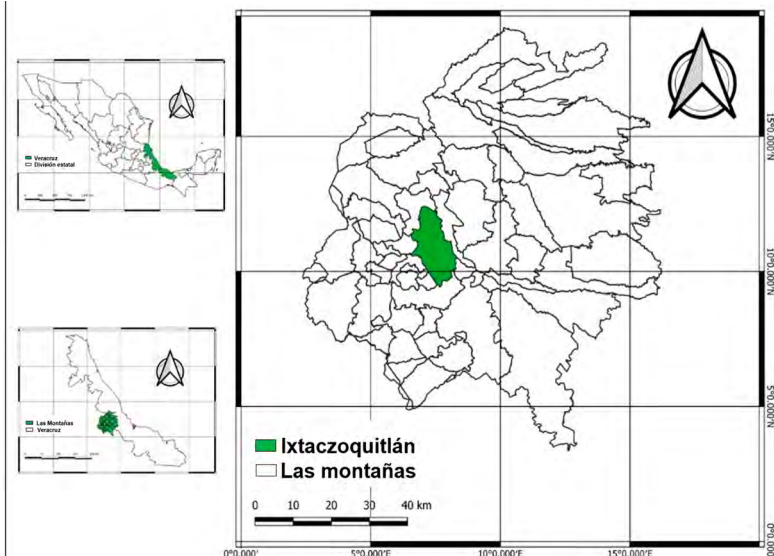
Estos antecedentes nos ayudan a entender la interacción planta-suelo-microorganismo en sistemas agrícolas antropizados, y su importancia en el mejoramiento de la salud el suelo. Por ello, el objetivo general del presente trabajo de investigación fue determinar el efecto de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y *Rhizobium* sobre algunas características agronómicas y fisiológicas en un sistema de milpa intercalado con árboles frutales (MIAF).

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en la comunidad Campo Grande, municipio de Ixtaczoquitlán, Veracruz, México, ubicada geográficamente a los 18° 49' LN,

Figura 9.1. Ubicación del área de estudio. Área natural protegida Metlac-Río Blanco



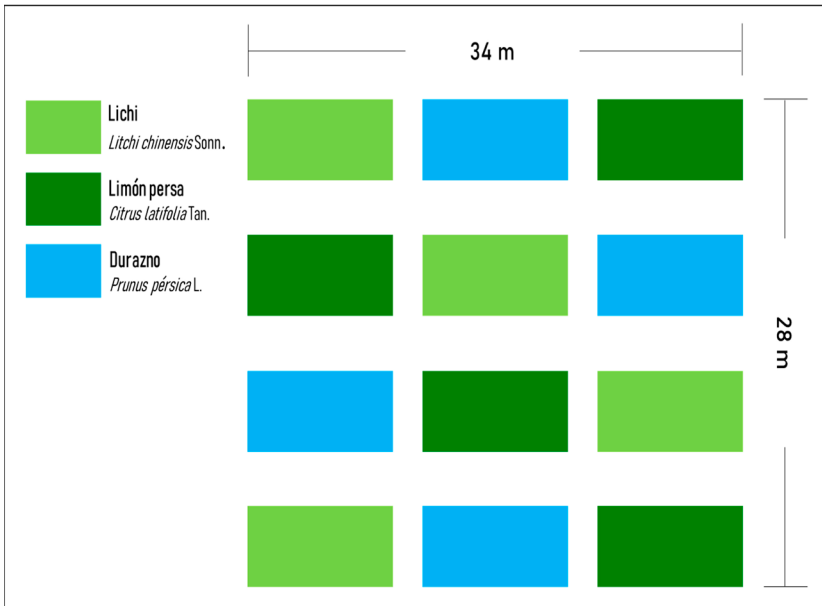
Fuente: Elaboración propia.

97° 1' LO, y una altitud de 881 msnm (figura 9.1). El clima en la localidad es *Am b(i)g* cálido húmedo, con una precipitación media anual de 2035.5 mm, y una temperatura media anual de 19 °C. El tipo de suelo es luvisol, con una pendiente de aproximadamente 27%.

Diseño y establecimiento de la parcela MIAF

Durante el ciclo otoño-invierno, del periodo 2020-2021, se estableció un módulo experimental tipo MIAF con cuatro hileras de árboles frutales dispuestos en curvas de nivel, plantados a 1 m de separación entre ellos y 7.8 m entre hileras. Los árboles frutales fueron de tres especies: durazno (*Prunus pérsica*), limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) y lichi (*Litchi chinensis*), distribuidos bajo un arreglo de bloques completamente al azar (figura 9.2).

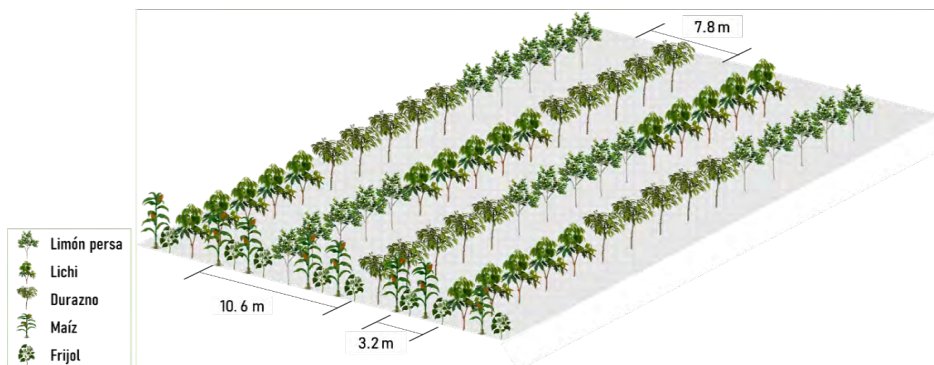
Figura 9.2. Distribución de los árboles frutales en el módulo MIAF



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, durante el ciclo primavera-verano, del año 2021, se sembró en cada franja, a un costado de los árboles e intercalados en hileras, cuatro surcos de maíz y frijol. En el caso del maíz se sembró la variedad nativa, *criollo crema*, a una distancia entre matas de 0.6 m; en cuanto al frijol, se plantó la variedad *criollo negro* a 0.3 m, entre surcos, a una distancia de 0.80 m. La unidad de observación estuvo constituida por un surco de 5 m de largo. Al momento de la siembra se depositaron tres semillas de maíz o frijol por golpe; a los 15 días después de la siembra (DDS) se aclareó, dejando dos plantas por mata. En ambos cultivos se estimó una densidad de población de 20 833 y 41 667 plantas ha^{-1} , respectivamente (figura 9.3).

Figura 9.3. Arreglo espacial y temporal de la milpa intercalada con árboles frutales



Fuente: Elaboración propia.

Fuente de inóculo y diseño de tratamientos

Las fuentes de inóculo utilizadas fueron: *Rhizophagus irregularis* y un consorcio micorrízico compuesto por 13 géneros de HMA, entre los que destacan *Glomus dimorphicum*, *Rhizophagus fasciculatus*, *Funneliformis mosseae* (250 propágulos g^{-1}), y dos cepas de *Rhizobium etli* (9×10^7 unidades formadoras de colonias [UFC] g^{-1}) provenientes de la empresa BioFábrica Siglo XXI. La inoculación se realizó directamente a la semilla del frijol y del maíz en razón de 50 g de inóculo por cada kilogramo de semilla. Como adherente se utilizó carboximetil celulosa.

Se aplicaron 6 tratamientos: (a) Consorcio HMA + *Rhizobium etli* (1) + 50 % de FM; (b) Consorcio HMA + *Rhizobium etli* (2) + 50 % de FM; (c) *Rhizopagus irregularis* + *Rhizobium etli* (1) + 50 % de FM; (d) *Rhizopagus irregularis* + *Rhizobium etli* (2) + 50 % de FM; (e) 100 % de FM (testigo positivo); y (f) 0 % de FM (testigo negativo). Todos los tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar con 4 repeticiones.

Características físicoquímicas y biológicas del suelo

Para determinar la fertilidad del suelo se tomaron submuestras en diferentes puntos de acuerdo con las características topográficas del terreno. La profundidad de cada unidad muestral fue de 0 a 40 cm; posteriormente, se homogenizó el suelo recogido y se obtuvo una muestra compuesta. En laboratorio se determinó la clase textural, el pH, la densidad aparente (g/cm^3), los carbonatos totales (%), la conductividad eléctrica (dS/m), y los macro y micronutrientes. Así mismo, para el análisis biológico se determinó la cantidad de materia orgánica y las unidades formadoras de colonia (UFC) de hongos, bacterias y actinomicetos presentes en el suelo.

Manejo del experimento

La fertilización mineral para el cultivo de maíz y frijol se realizó con la fórmula 70 N-60 P-00 K y 35 N-35 P-00 K, respectivamente. Al momento de la siembra de maíz se aplicó 1/3 de N y todo el P_2O_5 ; posteriormente, 30 DDS se emplearon los 2/3 restantes del N; mientras que para el frijol todo el fertilizante se aplicó al momento de la siembra. Los frutales se fertilizaron con la fórmula 20 N-10 P-20 K, a razón de 120 g/planta/año; esta dosis se fraccionó en dos aplicaciones; de la misma manera, se suministró alrededor de las plantas un fertilizante líquido PUSH-UP® a razón de 7 litros ha^{-1} , lo anterior para favorecer el establecimiento y desarrollo radicular de los árboles.

Siembra en macetas e inoculación con HMA, *Rhizophagus irregularis* y *Rhizobium etli*

Bajo condiciones de invernadero se sembró maíz y frijol con las mismas variedades utilizadas en campo. Las semillas se depositaron en macetas plásticas de 2 litros (0.70 kg). El sustrato utilizado fue suelo recolectado del módulo experimental. Al maíz y frijol se les aplicaron 15 tratamientos resultantes de la combinación de *rhizobium*, HMA y dosis de fertilización mineral (0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 %). Los tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar. Después de 6 semanas de crecimiento, las plantas fueron cosechadas para medir algunas variables agronómicas y fisiológicas.

Variables evaluadas

Las variedades evaluadas fueron las siguientes: (a) Altura de la plántula: se registró la altura en centímetros desde la base del tallo hasta la última hoja de cuatro plantas tomadas al azar; esta actividad se realizó con la ayuda de una regla; (b) Diámetro de tallo: se registró el diámetro de tallo en milímetros desde la base hasta la primera hoja en cuatro plantas tomadas al azar, esta actividad se llevó a cabo con la ayuda de un *vernier*; (c) Área foliar: se registró el largo y ancho de tres hojas desde el tercio inferior, medio y superior de cada planta, así como el número de hojas, en cuatro plantas tomadas al azar. El área foliar se calculó al multiplicar el largo por el ancho foliar, por el número de hojas. El valor final se expresó en cm²; y (d) Unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development): se determinó con un medidor SPAD-502 Plus, dispositivo de medición portátil no destructivo para medir el contenido de clorofila de las hojas. Se tomó el promedio de las lecturas realizadas en el tercio inferior, medio y superior de cada planta.

Análisis estadístico

Todas las variables fueron sometidas a una prueba de homogeneidad de varianzas y normalidad mediante la prueba de Bartlett y Shapiro-Wilk. Aquellas variables que no presentaron una distribución normal se transformaron para su análisis. Posteriormente, se realizaron análisis de varianza y una prueba de comparación de medias Duncan ($P \leq 0.05$). Los datos fueron analizados mediante el software estadístico STATGRAPHICS® Plus 5.0.

Resultados y discusión

Análisis fisicoquímico del suelo

Los resultados de los indicadores físicos evaluados se muestran en la tabla 9.1. El módulo agroforestal tipo MIAF presenta un suelo de textura fina con una densidad aparente de 1.785 g/cm^3 , el cual disminuyó a 1.58 g/cm^3 como resultado del establecimiento de la parcela agrícola MIAF. Si la densidad aparente se vuelve demasiado alta puede limitar el crecimiento de las raíces de las plantas. Esto podría provocar estrés por aireación (Stepniewski et al., 1994), temperatura del suelo más baja y cambios en los procesos biológicos (Brussaard y Van Faassen, 1994), así como aumento de la desnitrificación (Linn y Doran, 1984) y pérdida de hongos micorrízicos (Ellis, 1998). La susceptibilidad de los suelos a la compactación varía con la textura, siendo los suelos arcillosos más vulnerables que los suelos arenosos (Bünemann et al., 2018).

En cuanto a los indicadores químicos, se observa que el suelo pasó de un pH moderadamente ácido, con 5.70, a un pH ácido, con 4.90 (tabla 9.1). Uno de los fenómenos que pudo ocasionar dicho resultado es la descomposición de la materia orgánica por microorganismos presentes en el suelo, produciendo un constante suplemento de CO_2 , que fácilmente se transforma en ácido carbónico (H_2CO_3); así, en combinación con las bases intercambiables del suelo (K, Ca, Mg), se lavan del perfil llevando al suelo, de esta forma, a condiciones que desarrollan acidez.

Tabla 9.1. *Propiedades físicas y químicas del suelo antes y después de establecer el sistema agrícola MIAF*

<i>Indicadores</i>	<i>Ciclo productivo cero (2020)</i>	<i>Ciclo productivo uno (2021)</i>	<i>Unidad</i>
<i>Físicos</i>			
Densidad aparente	1.78	1.58	g/cm ³
<i>Químicos</i>			
pH	5.70	4.90	--
Conductividad eléctrica	0.023	0.039	Sdm ⁻¹
Carbonatos totales	0.13	--	%
Nitrógeno total	0.081	0.125	%
P asimilable	0.78	1.08	mg/Kg
Ca ++	1998.4	2003.4	mg/Kg
Mg ++	119.93	147.74	mg/Kg
Na +	9.89	10.35	mg/Kg
K +	37.05	56.94	mg/Kg
CIC	13.70	15.38	cmol.kg ⁻¹
Fe	19.10	66.60	mg/Kg
Cu	0.30	1.22	mg/Kg
Zn	0.15	0.53	mg/Kg
Mn	5.50	17.29	mg/Kg
B	0.29	0.73	mg/Kg

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, los fertilizantes nitrogenados que forman amonio (NH₄), como la urea, pasan por procesos de oxidación biológica o nitrificación, lo que lleva inevitablemente a la acidificación del suelo. Es importante mencionar que la mineralización de la materia orgánica también produce NH₄ como producto final del proceso de descomposición. Este NH₄ contribuye, de igual forma, a la acidificación del suelo después de la nitrificación (Espinoza y Molina, 1999). El suelo se encuentra libre de carbonatos y sales. Los valores de la conductividad eléctrica (CE) fluctuaron entre 0.023 Sdm⁻¹, en el ciclo 0, a 0.039 Sdm⁻¹ en el ciclo 1.

Al final del primer ciclo productivo, la materia orgánica incrementó de 1.71 a 2.76%; es decir, de moderadamente bajo a moderadamente alto (tabla 9.1). La materia orgánica se deriva de la descomposición y transformación microbiana de los detritos de las plantas y los exudados de las raíces (Guo et al., 2020). Diversos estudios reportan que la composición de la materia

orgánica disuelta en el suelo se deriva principalmente de los lixiviados de los desechos vegetales y los rizodepósitos liberados por los exudados de raíz, secreciones y raíces finas que se desprenden durante el alargamiento de la raíz, y compuestos orgánicos del recambio de micorrizas. Este aumento en la materia orgánica es un indicador directo del potencial de mitigación del sistema MIAF, ya que contribuye al secuestro de carbono en el suelo (Lasco et al., 2014; Hergoualc'h y Verchot, 2014). La materia orgánica (MO) y el nitrógeno total (NT) son dos propiedades fundamentales para evaluar la fertilidad del suelo.

Análisis microbiológico del suelo

Los resultados del análisis microbiológico se muestran en la tabla 9.2; estos presentan un incremento en la cantidad de bacterias (de 55.0×10^6 a 68.0×10^6 UFC/g), hongos (de 73.55×10^2 a 511.7×10^2 UFC/g) y actinomicetos (de 48.61×10^5 a 53.19×10^5 UFC/g) al final del primer ciclo productivo. En general, los microorganismos más abundantes en el suelo son las bacterias; no obstante, los hongos, por su tamaño, representan alrededor de 70% de la biomasa. Lo anterior es importante debido a que la actividad microbiana de la rizosfera es, en gran medida, responsable del funcionamiento del ecosistema y de la fertilidad de los suelos agrícolas.

Tabla 9.2. *Propiedades biológicas del suelo antes y después de establecer el sistema agrícola MIAF*

<i>Indicadores biológicos</i>	<i>Ciclo productivo cero (2020)</i>	<i>Ciclo productivo uno (2021)</i>	<i>Unidad</i>
Materia orgánica	1.71	2.76	%
Bacterias	55.0×10^6	68.0×10^6	UFC/g
Hongos	73.55×10^2	511.7×10^2	UFC/g
Actinomicetos	48.61×10^5	53.19×10^5	UFC/g

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados mostraron que los sistemas agroforestales promovían una mayor densidad de bacterias en comparación con los sistemas agrícolas convencionales. Además, se observó una mayor diversidad y actividad mi-

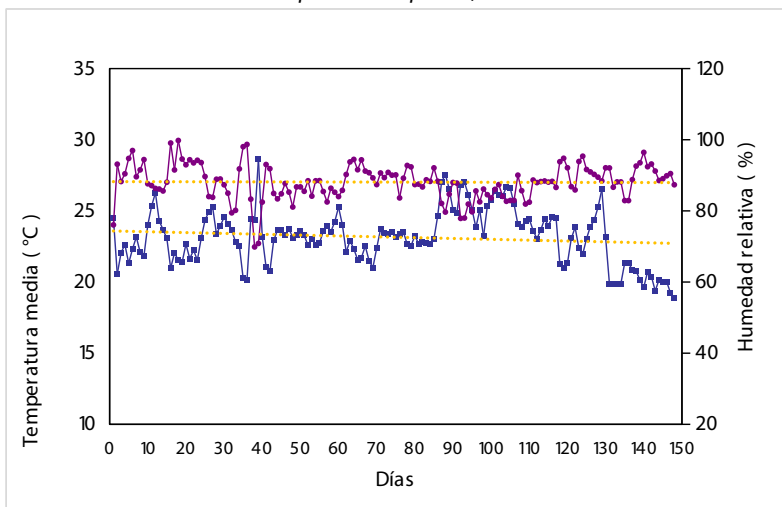
crobiana en los suelos de los sistemas agroforestales. Estos hallazgos respaldan nuestros resultados, donde se encontró una alta densidad de bacterias en el sistema agrícola agroforestal estudiado.

También, los sistemas agroforestales favorecen la presencia y diversidad de hongos en comparación con los sistemas agrícolas convencionales. Este incremento de hongos, especialmente los HMA, es una estrategia clave de adaptación, ya que estos microorganismos mejoran la capacidad de las plantas para resistir el estrés hídrico y absorber nutrientes incluso en condiciones de sequía, un efecto que se espera se intensifique con el cambio climático (Li et al., 2025; Revanna et al., 2022). Estos hallazgos son consistentes con nuestros resultados, donde se encontró una densidad relativamente alta de hongos en el suelo del sistema agrícola agroforestal.

Parámetros climáticos

Durante el periodo de evaluación se registró la humedad relativa y temperatura imperante en el área de estudio (gráfica 9.1). La humedad relativa

Gráfica 9.1. Humedad relativa y temperatura registrados en la localidad de Campo Grande, municipio Ixtaczoquitlán, Veracruz



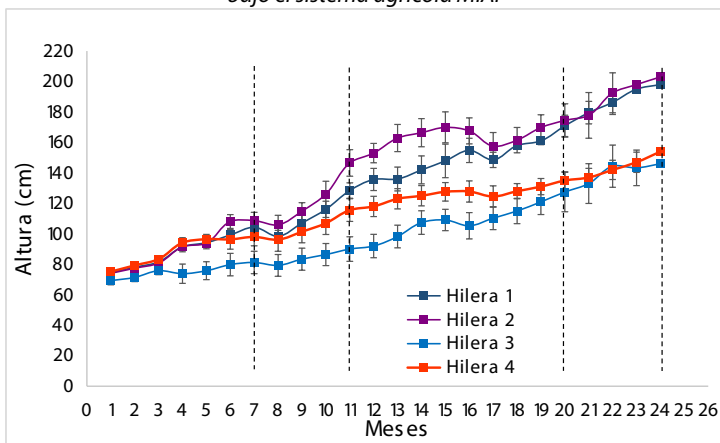
Fuente: Elaboración propia.

registrada se mantuvo en un rango de 69.9 a 99.8 %, con un promedio de 88.1 %, mientras que el promedio de la temperatura diaria osciló entre 18.9 y 28.6 °C. Las características climáticas se encuentran entre los factores más importantes que influyen en las propiedades del suelo, pues alteran la composición y biomasa microbiana de este (Yin et al., 2022; Das et al., 2023). Asimismo, se sabe que el contenido de agua del suelo limita los procesos biológicos en los suelos (Paz-Ferreiro et al., 2010).

Limón persa

En la gráfica 9.2 se muestra la cinética de crecimiento del limón persa (*Citrus latifolia* Tan.), en ella, se observa que la posición de los frutales dentro de la parcela ha influido en su desarrollo con un rango de crecimiento de 60 a casi 200 cm, aproximadamente. Durante el mes 15 se advierte un decremento en la altura a causa de las podas de formación que se realizaron para darle la fuerza estructural necesaria para soportar una cosecha máxima bien distribuida con exposición de luz solar y accesibilidad para las prácticas culturales y de cosecha.

Gráfica 9.2. Cinética de crecimiento de los árboles de limón persa bajo el sistema agrícola MIAF



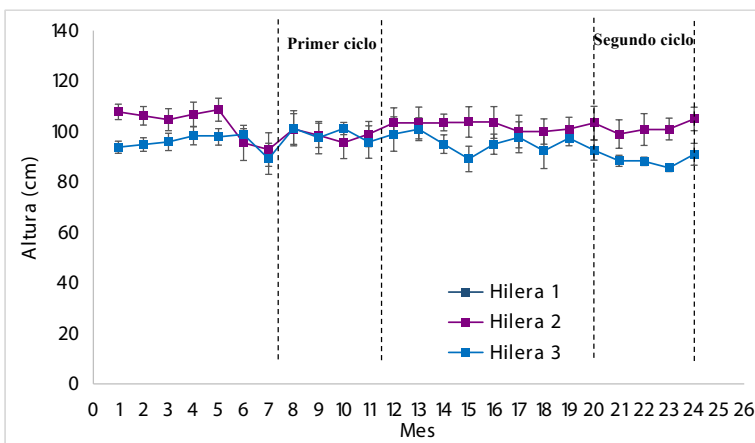
Fuente: Elaboración propia. Nota: Los valores son medias \pm desviación estándar.

La temperatura influye en el desarrollo del cultivo, la floración y la maduración del fruto. La temperatura óptima del limón persa va de 25 a 31 °C; la temperatura mínima para el cultivo es de 18 °C y la máxima, de 38 °C. Las bajas temperaturas provocan paralización del crecimiento del árbol y, en etapas de fructificación, inducen caídas de frutos; lo anterior sugiere que el cultivo de limón persa es factible en la localidad de Campo Grande, municipio Ixtaczoquitlán, Veracruz.

Lichi

El lichi (*Litchi chinensis*) crece bien en lugares tropicales con temperaturas altas del orden de los 30 °C; asimismo, requiere de una humedad relativa de entre 70 y 80%. En la zona más importante de producción de lichi, en China, las temperaturas promedio máximas y mínimas va de los 19 a los 9 °C, respectivamente, en enero, mientras que durante el mes de julio oscilan entre los 33 y los 25 °C. No obstante, pese a estar dentro del rango de temperatura óptima, la cinética de crecimiento del lichi no ha cambiado durante su fase de crecimiento (gráfica 9.3); debido a que el cultivo no ha mostrado una buena adaptación a las condiciones edafoclimáticas del

Gráfica 9.3. Cinética de crecimiento de lichi bajo el sistema agrícola MIAF



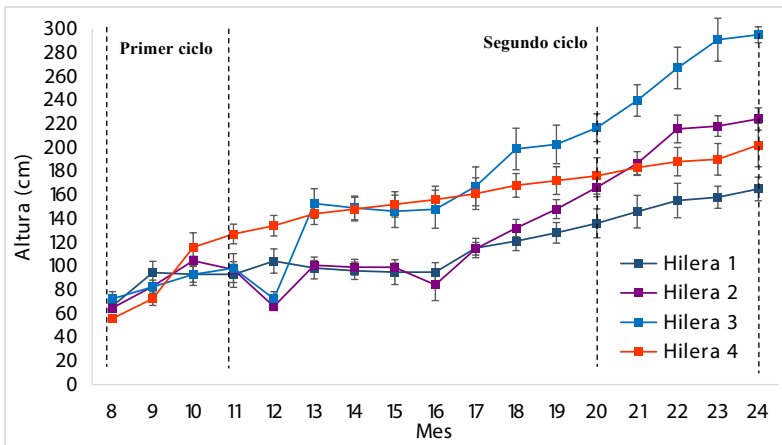
Fuente: Elaboración propia. Nota: Los valores son medias \pm desviación estándar.

campo. Los suelos ácidos y la presencia de micorrizas en las raíces siempre se han considerado sumamente benéficos y esenciales.

Durazno

Los árboles de durazno (*Prunus persica*) presentaron la mayor cinética de desarrollo: de 60 a 280 cm, aún cuando se realizaron podas de crecimiento, los árboles respondieron bien al establecimiento (gráfica 9.4).

Gráfica 9.4. Cinética de crecimiento de durazno bajo el sistema agrícola MIAF



Nota: Los valores son medias \pm desviación estándar.

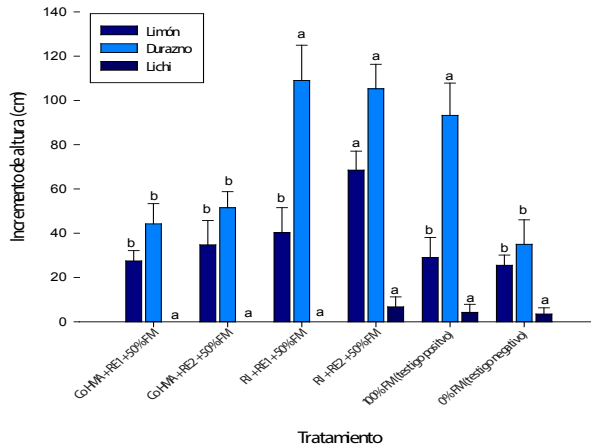
Fuente: Elaboración propia.

No obstante, la falta de bajas temperaturas puede ser también un problema, pues requieren de 400 a 800 horas de frío. Presentan un adecuado desarrollo en los suelos francos, franco-arenosos y franco-arcillosos, con un pH de 6 a 8 y precipitación de 900 a 1 500 mm anuales (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2016).

En conjunto, los resultados de los frutales muestran que el sistema MIAF no sólo permite una producción exitosa en condiciones locales, sino

que también fortalece su capacidad de adaptación. El durazno y el limón persa, en particular, mostraron una buena respuesta de crecimiento, lo que sugiere que el sistema les proporciona el soporte agronómico necesario para prosperar incluso con la variabilidad climática. Este fortalecimiento de la resiliencia es un punto clave para la seguridad alimentaria en el contexto del cambio climático (Quandt et al., 2023). El tratamiento que presentó un mayor efecto en las tres especies de árboles frutales fue *rhizophagus irregularis* + *rhizobium etli* (2) + 50% de fertilización mineral, generando incrementos de altura de 68.5 ± 8.6 cm en los árboles de limón persa; 105.3 ± 11.0 cm, en durazno; y 6.8 ± 4.5 cm, en lichi (gráfica 9.5). Bolan (1991) y Fitter y Garbaye (1994) consideran que el beneficio de las micorrizas se traduce en un mayor crecimiento y desarrollo de las plantas en beneficio de la adaptación, y en eficiencia nutricional al facilitar una mayor absorción de nutrientes minerales del suelo.

Gráfica 9.5. Efecto de los tratamientos en el incremento de altura de los árboles frutales bajo el sistema agrícola MIAF



Nota: Los valores son medias \pm desviación estándar. Diferentes letras en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable analizada ($p \leq 0.05$). Co: Consorcio, HMA: hongos micorrízicos, RE1: *rhizobium etli* (cepa 1), RE2: *rhizobium etli* (cepa 2), RI: *rhizophagus irregularis*, FM: Fertilización mineral.

Fuente: Elaboración propia.

Plántulas inoculadas de maíz

En relación con la altura de la plántula de maíz, los tratamientos 9 y 10 mostraron las mayores alturas con valores promedio de 2.2 ± 0.0 y 1.3 ± 0.0 , respectivamente, seguidos por los tratamientos 4 y 5, con alturas promedio de 1.9 ± 0.2 (tabla 9.3). Estos resultados indican que los tratamientos 9, 10, 4 y 5 promovieron un mayor crecimiento en altura de las plántulas de maíz en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, los tratamientos 1 y 11 presentaron las alturas más bajas con valores promedio de 0.8 ± 0.2 y 0.9 ± 0.1 , respectivamente. Estos resultados sugieren que los tratamientos 1 y 11 tuvieron un efecto negativo en el crecimiento de las plántulas.

Tabla 9.3. Efecto de los tratamientos estudiados en el desarrollo morfológico de las plantas de maíz

Tratamiento	Inóculo	Dosis de FM (%)	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Unidades SPAD
1	Testigo	0	0.8 ± 0.2 g	7.3 ± 0.8 d	20 ± 2.1 bcd
2	Testigo	25	1.7 ± 0.2 cd	11.7 ± 1.6 bc	19.4 ± 0.0 d
3	Testigo	50	1.8 ± 2.0 bcd	11.0 ± 0.5 c	26.9 ± 0.7 abc
4	Testigo	75	1.9 ± 0.2 abc	11.7 ± 2.2 bc	25.6 ± 1.8 abcd
5	Testigo	100	1.9 ± 0.2 abcd	15.6 ± 0.6 a	30.2 ± 3.5 a
6	Consorcio HMA	0	1.1 ± 0.2 fg	7.7 ± 2.3 d	19.6 ± 2.2 cd
7	Consorcio HMA	25	1.5 ± 0.0 de	11.3 ± 0.5 c	23.0 ± 4.9 bcd
8	Consorcio HMA	50	2.1 ± 0.1 ab	14.0 ± 0.2 ab	22.2 ± 2.9 bcd
9	Consorcio HMA	75	2.2 ± 0.0 a	14.4 ± 2.3 a	32.0 ± 7.8 a
10	Consorcio HMA	100	1.3 ± 0.0 ef	11.4 ± 0.1 c	31.7 ± 6.2 a
11	<i>R. Irregularis</i>	0	0.9 ± 0.1 g	7.8 ± 1.3 d	21.7 ± 1.3 bcd
12	<i>R. Irregularis</i>	25	1.8 ± 0.2 cd	11.8 ± 1.3 bc	20.2 ± 2.9 bcd
13	<i>R. Irregularis</i>	50	1.9 ± 0.2 abcd	10.7 ± 1.0 c	27.2 ± 2.3 ab
14	<i>R. Irregularis</i>	75	1.8 ± 0.2 bcd	11.3 ± 2.1 c	31.4 ± 3.4 a
15	<i>R. Irregularis</i>	100	1.8 ± 0.1 bcd	14.7 ± 1.3 a	30.1 ± 2.4 a

Nota: Los valores son medias \pm desviación estándar. Diferentes letras en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable analizada (≤ 0.05). Fm: Fertilización mineral, HMA: Hongos Micorrízicos Arbusculares, R: Rhizophagus.

Fuente: Elaboración propia.

Al considerar trabajos previos similares, en un estudio realizado por Zulueta-Rodríguez et al. (2020) se encontró que la inoculación de semillas de maíz con una cepa específica de rizobacterias indujo un mayor crecimiento en altura de las plántulas en comparación con el control no tratado. Estos hallazgos respaldan nuestros resultados, donde los tratamientos 9, 10, 4 y 5 podrían estar relacionados con la inoculación de otros similares.

En cuanto al diámetro del tallo, los tratamientos 9, 10, 14 y 15 exhibieron los mayores valores promedio, lo que indica un mayor grosor del tallo en comparación con los demás tratamientos. Estos resultados sugieren que dichos procedimientos favorecieron el desarrollo y la fortaleza del tallo de las plántulas de maíz. Por otro lado, los tratamientos 1, 6 y 11 mostraron los diámetros de tallo más bajos en comparación con los demás tratamientos, lo que indica una menor fortaleza estructural.

Sánchez-Roque et al. (2022) investigaron el efecto de la inoculación con hongos micorrízicos en el crecimiento y desarrollo del maíz. Los resultados revelaron que la inoculación con ciertas especies de hongos promovió un mayor diámetro del tallo en comparación con el control. Estos resultados son consistentes con nuestros hallazgos, donde los tratamientos 9, 10, 14 y 15, que mostraron los diámetros de tallo más grandes, podrían estar relacionados con la inoculación de tratamientos similares.

En cuanto a las unidades SPAD, los tratamientos 9, 10, 14 y 15 exhibieron los valores más altos, lo que señala una mayor concentración de clorofila y una mejor salud de las plántulas de maíz. Estos resultados sugieren que dichos tratamientos favorecieron una mejor fotosíntesis y un mayor rendimiento de las plantas. Por otro lado, los tratamientos 1, 2 y 6 mostraron los valores más bajos de unidades SPAD, lo que indica una menor concentración de clorofila y posiblemente una menor capacidad fotosintética.

En un estudio realizado por Zhou et al. (2022), se encontró que la aplicación de un fertilizante orgánico en el suelo reveló una mayor concentración de clorofila en las hojas de las plantas de maíz. Estos resultados respaldan nuestros hallazgos, donde los tratamientos 9, 10, 14 y 15 señalaron las unidades SPAD más altas que podrían estar relacionados con tratamientos similares que mejoran la salud y la fotosíntesis de las plántulas de maíz. Por lo tanto, ciertos tratamientos de inoculación y fertilización pueden mejorar el crecimiento y la salud de las plántulas de maíz.

Plántulas inoculadas de frijol

Los tratamientos 10, 5 y 15 revelaron las alturas más altas con valores promedio de 0.68 ± 0.5 , 0.53 ± 0.0 y 0.54 ± 7.0 , respectivamente (tabla 9.4).

Tabla 9.4. Efecto de los tratamientos estudiados en el desarrollo morfológico de las plantas de frijol

Tratamiento	Inóculo	Dosis de FM (%)	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Unidades SPAD
1	Testigo	0	49.0 ± 7.9bcd	3.3 ± 0.3 fg	31.2 ± 1.7 ab
2	Testigo	25	45.7 ± 2.5 d	3.7 ± 0.5 defg	31.4 ± 2.1 ab
3	Testigo	50	37.0 ± 0.0e	4.9 ± 0.4 abcd	34.9 ± 0.8 ab
4	Testigo	75	48.0 ± 2.0bcd	4.8 ± 0.3 abcde	34.3 ± 3.9 ab
5	Testigo	100	53.0 ± 3.0 bc	5.1 ± 1.3 abc	36.8 ± 0.8 a
6	Consorcio HMA/ <i>rhizobium</i>	0	27.3 ± 3.1 f	3.5 ± 0.3 efg	29.3 ± 4.7 ab
7	Consorcio HMA/ <i>rhizobium</i>	25	34.0 ± 3.6 e	4.6 ± 0.4 bcdef	32.3 ± 8.2 ab
8	Consorcio HMA/ <i>rhizobium</i>	50	35.0 ± 2.0 e	5.0 ± 0.5 abc	33.2 ± 2.2 ab
9	Consorcio HMA/ <i>rhizobium</i>	75	44.5 ± 2.5 d	5.4 ± 0.7 ab	36.5 ± 2.5 ab
10	Consorcio HMA/ <i>rhizobium</i>	100	68.0 ± 5.0 a	6.0 ± 0.6 a	33.2 ± 2.2 ab
11	<i>R. Irregularis</i> / <i>rhizobium</i>	0	22.0 ± 1.0 f	3.0 ± 0.2 g	28.5 ± 5.4 c
12	<i>R. Irregularis</i> / <i>rhizobium</i>	25	23.0 ± 1.0 f	4.0 ± 0.2 cdefg	29.5 ± 5.4 ab
13	<i>R. Irregularis</i> / <i>rhizobium</i>	50	27.0 ± 3.0 f	4.6 ± 0.5 bcde	32.6 ± 1.5 ab
14	<i>R. Irregularis</i> / <i>rhizobium</i>	75	46.3 ± 5.7 cd	5.0 ± 1.5 abc	37.4 ± 0.8 a
15	<i>R. Irregularis</i> / <i>rhizobium</i>	100	54.3 ± 7.0 b	5.0 ± 1.0 abc	32.3 ± 8.2 ab

Nota: Los valores son medias ± desviación estándar. Diferentes letras en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos para cada variable analizada ($p \leq 0.05$). Fm: Fertilización mineral, HMA: Hongos Micorrízicos Arbusculares, R: Rhizopagus.

Fuente: Elaboración propia.

Dichos resultados indican que estos tratamientos promovieron un mayor crecimiento en altura de las plántulas de frijol en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, los tratamientos 6, 11 y 12 presentaron

las alturas más bajas, con valores promedio de 0.27 ± 0.0 , 0.22 ± 1.0 y 0.23 ± 1.0 , respectivamente. Estos resultados sugieren que tales tratamientos tuvieron un efecto negativo en el crecimiento de las plántulas. Al considerar trabajos previos similares, en un estudio realizado por Chalk et al. (2006), examinaron el efecto de diferentes inoculantes en el crecimiento de plántulas de leguminosas. Los resultados señalaron que la inoculación con una cepa específica de rizobacterias provocó un mayor crecimiento en altura de las plántulas de frijol en comparación con el control no tratado. Estos hallazgos respaldan nuestros resultados, donde los tratamientos 10, 5 y 15, que mostraron las alturas más altas, podrían estar relacionados con la inoculación de tratamientos similares.

En cuanto al diámetro del tallo, los tratamientos 10, 9 y 15 exhibieron los mayores valores promedio, lo que indica un mayor grosor del tallo en comparación con los demás tratamientos. Estos resultados sugieren que estos tratamientos favorecieron el desarrollo y la fortaleza del tallo de las plántulas de frijol. Por otro lado, los tratamientos 1, 2 y 11 mostraron los diámetros de tallo más bajos en comparación con los demás tratamientos, lo que indica una menor fortaleza estructural.

Lynch et al. (1991) investigaron el efecto de la inoculación con hongos micorrízicos en el crecimiento y desarrollo del frijol. Los resultados revelaron que la inoculación con ciertas especies de hongos propició un mayor diámetro del tallo en comparación con el control. Estos resultados son consistentes con nuestros hallazgos, donde los tratamientos 10, 9 y 15, que mostraron los diámetros de tallo más grandes, podrían estar relacionados con la inoculación de tratamientos similares.

En cuanto a las unidades SPAD, los tratamientos 5, 9 y 10 exhibieron los valores más altos, lo que indica una mayor concentración de clorofila y una mejor salud de las plántulas de frijol. Estos resultados sugieren que dichos tratamientos promovieron una mejor fotosíntesis y un mayor rendimiento de las plantas. Por otro lado, los tratamientos 11 y 12 mostraron las unidades SPAD más bajas, lo que indica una menor capacidad fotosintética.

Un estudio realizado por Liu et al. (2019), evaluaron el efecto de diferentes tratamientos de fertilización en la concentración de clorofila en diferentes cultivos. Los resultados señalaron que ciertos tratamientos de fertilización favorecieron una mayor concentración de clorofila en comparación

con el control. Estos hallazgos respaldan nuestros resultados, donde los tratamientos 5, 9 y 10, que mostraron las unidades SPAD más altas, podrían estar relacionados con tratamientos similares que mejoran la salud y la fotosíntesis de las plántulas de frijol.

En cuanto al área foliar, los tratamientos 8, 5 y 14 presentaron los mayores valores promedio, lo que indica un mayor desarrollo y expansión del área foliar en comparación con los demás tratamientos. Dichos resultados sugieren que estos tratamientos favorecieron el crecimiento de las hojas y la captación de luz para la fotosíntesis. Por otro lado, los tratamientos 1, 11 y 12 mostraron las áreas foliares más bajas en comparación con los demás tratamientos, lo que indica un menor desarrollo foliar.

En un estudio previo, Martínez et al. (2017) examinaron el efecto de diferentes tratamientos de riego en el desarrollo del área foliar de las plantas de frijol. Los resultados indicaron que ciertos tratamientos de riego favorecieron un mayor desarrollo del área foliar en comparación con el control. Estos hallazgos son consistentes con nuestros resultados, donde los tratamientos 8, 5 y 14, que mostraron las áreas foliares más grandes, podrían estar relacionados con tratamientos similares que promueven el desarrollo foliar en las plántulas de frijol.

Conclusiones

La formación de consorcios microbianos impulsa la actividad biológica en el suelo, facilitando la descomposición de materia orgánica, la mineralización de nutrientes y la fijación de nitrógeno atmosférico. Estas actividades microbianas contribuyen a mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas y, por lo tanto, favorecen el crecimiento y desarrollo de los cultivos. En los sistemas de producción agrícola sostenible, el uso de consorcios microbianos se ha convertido en una estrategia importante para reducir la dependencia de fertilizantes químicos y pesticidas al promover la salud del suelo y la conservación del medio ambiente. El hecho de fomentar la diversidad microbiana y establecer interacciones beneficiosas puede lograr una considerable eficiencia en la utilización de nutrientes, una resistencia superior a enfermedades y una mayor productividad agrícola. Además, es-

tas mejoras en la salud del suelo fortalecen la resiliencia del sistema productivo frente a los efectos del cambio climático, contribuyendo tanto a la adaptación como a la mitigación.

Referencias

- Albino, G. (2014). *El sistema agroforestal Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF): productividad y optimización económica del maíz y frijol* [Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados].
- Andrade-Torres, A. (2010). Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos. *Ciencia*, 61, 84-90.
- Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas*. Instituto Nacional de Antropología e Historia / Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Bolan, N. (1991). A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Journal Plant and Soil*, 134, 189-207.
- Brussaard, L., y Faassen, H. van (1994). Effects of compaction on soil biota and soil biological processes. En B. D. Soane y C. van Ouwerkerk (Eds.), *Soil compaction in crop production* [Vol. 11, pp. 215-235]. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444882868500180>
- Bünemann, E., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R., Deyn, G. de, Goede, R. de, Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., Groenigen, J. van, y Brussaard, L. (2018). Soil quality: A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125.
- Cadena-Iñiguez, P., Camas-Gómez, R., López-Báez, W., López-Gómez, H., y González-Cifuentes, J. (2018). El MIAF, una alternativa viable para laderas en áreas marginadas del sureste de México: caso de estudio en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1351-1361.
- Chalk, P., Souza, R., Urquiaga, S., Alves, B., y Boddey, R. (2006). The role of arbuscular mycorrhiza in legume symbiotic performance. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 2944-2951.
- Cortés, F., y Isabel, J. (2005). *Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas*. Colegio de Postgraduados.
- Das, S., Deb, S., Sahoo, S., y Sahoo, U. (2023). Soil microbial biomass carbon stock and its relation with climatic and other environmental factors in forest ecosystems: A review. *Acta Ecologica Sinica*, 43(6), 933-945. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2022.12.007>
- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P., Fall, D., Hoher, V., y Svistoonoff, S. (2020). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: Importance in biotic and abiotic stressed regulation. *Diversity*, 12(10).

- Duché-García, T., Ocampo-Fletes, I., Cruz-Hernández, J., Hernández-Guzmán, J., Macías-López, A., Jiménez-García, D., y Hernández-Romero, E. (2021). Microbial groups in a milpa agroecosystem interclassified with fruit trees in high valleys of Puebla, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(2), 1-17.
- Ellis, F. (1998). Household strategies and rural livelihood diversification. *The Journal of Development Studies*, 35(1), 1-38.
- Espinosa, J., y Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de suelos*. International Plant Nutrition Institute.
- Fitter, A., y Garbaye, J. (1994). Interactions between mycorrhizal fungi and other soil organisms. *Plant and Soil*, 159, 123-133.
- Guo, X., Gao, Q., Yuan, M., Wang, G., Zhou, X., Feng, J., Shi, Z., Hale, L., Wu, L., Zhou, A., Tian, R., Liu, F., Wu, B., Chen, L., Jung, C., Niu, S., Li, D., Xu, X., Jiang, L., y Zhou, J. (2020). Gene-informed decomposition model predicts lower soil carbon loss due to persistent microbial adaptation to warming. *Nature Communications*, 11(1).
- Hergoualc'h, K., y Verchot, L. V. (2014). Stocks and flows of carbon and greenhouse gases in tropical agroforestry systems. *Advances in Agroforestry* (pp. 1-28). Springer.
- aizme-Vega, M., y Rodríguez-Romero, A. (2008). Integración de microorganismos benéficos (Hongos micorrízicos y bacterias rizosféricas) en agrosistemas de las Islas Canarias. *Agroecología*, 3, 33-39.
- Kouadio, A., Nandjui, J., Krou, S., Séry, D., Nelson, P. N., y Zézé, A. (2017). A native arbuscular mycorrhizal fungus inoculant outcompetes an exotic commercial species under two contrasting yam field conditions. *Rhizosphere*, 4, 112-118.
- Lara-Capistrán, L., Hernández-Montiel, L. G., Reyes-Pérez, J. J., Zulueta-Rodríguez, R., Jazayeri, S. M., y Villamar-Torres, R. O. (2021). Diversity and Ecology of Arbuscular Mycorrhization Fungi. En: N. R. Maddela y L. C. García (Eds), *Innovations in Biotechnology for a Sustainable Future* [pp. 185-201]. Springer.
- Lasco, R. D., Pulhin, J. E., y de Guia, L. D. C. (2014). Climate change adaptation and mitigation in agroforestry systems in the Philippines: A review. *Agroforestry Systems*, 88(4), 717-730.
- Linn, D., y Doran, J. (1984). Effect of Water Filled Pore Space on Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Production in Tilled and Non-Tilled Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 48, 1267-1272.
- Liu, C., Liu, Y., Lu, Y., Liao, Y., Nie, J., Yuan, X., y Chen, F. (2019). Use of a leaf chlorophyll content index to improve the prediction of above-ground biomass and productivity. *PeerJ*, 6.
- Lynch, J., Läuchli, A., y Epstein, E. (1991). Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Science*, 31(2), 380-387.
- Martínez, S., Rodríguez, L., y Torres, M. (2017). Effect of irrigation treatments on leaf area development in bean plants. *Irrigation Science*, 35(4), 345-356.
- Moreno-Calles, A., Galicia-Luna, V., Casas, A., Toledo, V., Vallejo-Ramos, M., Santos-Fita, D., y Camou-Guerrero, A. (2014). Etnoagroforestería: El estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología*, 12(3), 1-16.

- Navarro-Cetina, F., y Ramos-Zapata, J. (2021). Micorriza arbuscular en plantas de Yuca-tán. *Bioagrocencias*, 14(1).
- Noda, Y. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pas-tos. *Pastos y Forrajes*, 32(2).
- Paz-Ferreiro, J., Trasar-Cepeda, C., y Leirós, M. (2010). Effect of management and clima-te on biochemical properties of grassland soils from Galicia (NW Spain). *European Journal of Soil Biology*, 46(2), 136-143.
- Quandt, A., Neufeldt, H., y Gorman, K. (2023). Climate change adaptation through agroforestry: opportunities and gaps. *Current Opinion in Environmental Sustain-ability*, 60, 101244. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101244>
- Rathod, R. V., Kumar, R., VijayKumar, R., Jyothishree, L., y Mubeen, M. (2024). The role of soil microorganisms in carbon sequestration and climate change mitigation in agroecosystems. *Global Agri Vision*, 11(3), 62-69.
- Revanna, A., Bagyaraj, D. J., y Raju, B. M. (2022). Dual inoculation with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungus improves water stress tolerance and productivity in soybean. *Plant Stress*, 4, 100084. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100084>
- Sánchez-Roque, Y., Pérez-Luna, Y., Santos-Espinoza, A., y Gutiérrez-Miceli, F. (2022). Evaluation of the effect of native arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost leachate on the yield and quality of field-grown peanuts. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-15.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023). *MIAF, un sistema multiobjetivo*. Sader. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/miaf-un-sistema-multiobjetivo>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016). *Atlas Agroalimentario*. SIAP.
- Stepniewski, W., Glinski, J., y Ball, B. (1994). Chapter 8 - Effects of Compaction on Soil Aeration Properties. En B. D. Soane y C. van Ouwerkerk (Eds.), *Soil Compaction in Crop Production* (Vol. 11, pp. 167-189). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B97804444882868500167>
- Torres-Zambrano, J., Cortés Flores, J., Turrent Fernández, A., Hernández Romero, E., y Muratalla Lúa, A. (2008). Rendimiento de fruto y número de ramas principales en árboles de durazno intercalados con milpa. *Terra Latinoamericana*, 26(3), 265-273.
- Torres Zambrano, J. P., Cortés Flores, J. I., Turrent Fernández, A., Volke Haller, V. H., Ortiz Solorio, C. A., y Jiménez López, A. (2021). Caracterización físico-química y clasificación del suelo de ladera manejado bajo el sistema Milpa Intercalada con árboles frutales. *Teknos Revista científica*, 21(2), 35-45. <https://doi.org/10.25044/25392190.1031>
- Torres Zambrano, J., Contreras Hernández, A., y González Amaro, R. (2021). Las milpas y los árboles. *Portal*.
- Yin, S., Liang, G., Wang, C., y Zhou, Z. (2022). Asynchronous seasonal patterns of soil microorganisms and plants across biomes: A global synthesis. *Soil Biology and Bio-chemistry*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108859>
- Zhou, Z., Zhang, S., Jiang, N., Xiu, W., Zhao, J., y Yang, D. (2022). Effects of organic fertili-zer incorporation practices on crops yield, soil quality, and soil fauna feeding activi-ty in the wheat-maize rotation system. *Frontiers in Environmental Science*, 10.

Zulueta-Rodríguez, R., Gómez-Merino, F., Alemán-Chávez, I., Núñez-Camargo, M., y Lara-Capistrán, L. (2020). Respuesta del cultivo de maíz a la bio-inoculación y fertilización química reducida en campo. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 597-612.

10. Diagnóstico de los efectos de la variabilidad climática en la naranja en el norte de Veracruz



GUSTAVO ALMAGUER VARGAS*
JUAN GUILLERMO CRUZ CASTILLO**
PABLO ALBERTO TORRES LIMA***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.10>

Resumen

En el norte del Estado de Veracruz, los dueños de las unidades de producción consideraron que los factores climáticos, sobre todo la sequía, son el segundo problema más importante que enfrentan. En un experimento de fertilización en naranja, se obtuvieron rendimientos muy bajos, atribuible a la interacción de una sequía atípica que ocurrió de marzo a septiembre de 2019; misma que causó estrés hídrico persistente, con la presencia de Huanglongbing (HLB) y virus de la tristeza de los cítricos (VTC). En la literatura se indica que la producción de frutos en naranja, bajo sequía, se puede incrementar con la aplicación combinada de sulfato de amonio, fosfato monoamónico y nitrato de potasio al suelo y follaje. El problema causado por el cambio climático en el norte de Veracruz es muy grave, ya que existen posibilidades de que toda una región, que produce cerca del 50 % de la naranja a nivel nacional, desaparezca como tal si persisten las sequías. Se sugiere a los productores prácticas culturales para mitigar los daños por la variabilidad climática, sobre todo con poda, fertilizaciones del suelo, aplicación de bioestimulantes al follaje, y siembra de coberteras vivas.

* Doctor en Ciencias en Fisiología Vegetal. Profesor, Universidad Autónoma Chapingo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9462-2913>

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

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

Palabras clave: *tristeza de los cítricos, coberteras vivas, bioestimulantes, Veracruz.*

Introducción

El sector agropecuario y pesquero presenta una serie de problemas entre los que destacan la baja productividad, competitividad y rentabilidad; además de que no es incluyente, sin mencionar su reducida sustentabilidad; razón por la cual este sector se encuentra estancado y debilitado. Ha tenido un ritmo de crecimiento menor al de la economía nacional. En 1950, la participación del producto interno bruto (PIB) primario en el PIB nacional era de 16.%; en el 2019, de 2.4%. En conjunto con la actividad industrial alimentaria, su importancia se eleva a 8.9% del PIB, con un alto potencial de desarrollo agroalimentario (agropecuario, pesquero y agroindustrial) (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [Sagarpa], 2013). A partir de 1988 se destruyeron mecanismos que resultaban fundamentales para el desarrollo agrario, se orientó el apoyo público a la manipulación electoral y se propició el vaciamiento poblacional del agro (Secretaría de Gobernación [Segob], 2018).

La industria citrícola no es ajena a lo que sucede en el sector. A pesar de que México ocupa el quinto lugar como productor de cítricos en el mundo, con una derrama económica superior a los 15 000 millones de pesos (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural / Dirección General de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [Sader / DSGSIAP], 2021), su problemática es grave, ya que presenta bajos rendimientos por hectárea (casi la tercera parte de lo que produce Florida), y el ingreso anual por hectárea de los naranjeros de la Huasteca Veracruzana era inferior a los \$ 4 000; principalmente, por los altos costos de producción y la venta a intermediarios. (Almaguer et al. 2014).

Son muchos los factores que provocan bajos rendimientos e ingresos; dentro de los cuáles destaca la baja adopción de innovaciones por parte de los productores, que en promedio es de 15% (Almaguer et al. 2014), debido a que 72.74% de los productores tienen más de 45 años, mientras que 86.5% no cuenta con estudios o cursaron tan sólo la educación secundaria; además

de que las unidades de producción tienen como media 5.9 hectáreas a nivel nacional, lo que implica que son minifundistas (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2022).

Los citricultores enfrentan otros problemas, como el precio de los fertilizantes, que de enero de 2022 a marzo de 2023 triplicaron su precio. De hecho, el Censo Agropecuario del Inegi (2022) afirma que el principal problema que tienen las unidades de producción en México son los altos costos de insumos y servicios. Por su parte, el uso glifosato, el herbicida más utilizado en la región, independientemente de que su precio se incrementó casi 100 % en un año, está en vías de prohibirse para enero de 2024.

Variabilidad climática y sequía en el norte de Veracruz

El Censo Agropecuario del INEGI, (2022) señaló, por primera vez, que los dueños de las unidades de producción en México consideraron los factores climáticos, principalmente el de la sequía, como el segundo problema más importante que enfrentan. La sequía es un fenómeno recurrente en el estado de Veracruz, donde los años con mayores declaratorias de sequía se han visto afectados con una menor producción agropecuaria. Los municipios del norte y suroeste padecen los niveles más altos de sequías (Valdez, 2022).

De acuerdo con Bautista (2023), en la segunda quincena de marzo de este año se duplicó el número de municipios veracruzanos catalogados en las categorías de sequía con respecto al mismo periodo de 2022. Este mismo autor realizó un esquema de los tipos de sequía en la Región Huasteca Baja (Norte de Veracruz), con base a información geográfica, especificando que el tipo de sequía es severa y muy fuerte.

De acuerdo con el Monitor de Sequía en México (MSM, 2023), para el año 2021 se tuvieron cinco fechas sin sequía, pero para el 2022 sólo una fecha tuvo lluvias adecuadas y los demás meses tuvieron diferente intensidad de sequía, desde *anormalmente seco* y *sequía moderada*, hasta *sequía severa*. A continuación, presentamos un registro diacrónico, correspondiente al periodo 2021-2023, de las sequías que se presentaron, con sus correspondientes fechas y según su nivel de intensidad, en el norte de Veracruz, de

acuerdo con los datos asentados por el Monitor de Sequía en México y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (tabla 10.1).

Tabla 10.1. *Intensidad de la sequía en diferentes fechas (2021-2023) en el norte de Veracruz*

Fecha	2021	2022	2023
Marzo, 15	D0, D1	D0, D1	D0, D1
Abril, 15	D0, D1	D0, D1, D2	D0, D1
Mayo, 15	D1, D2	D0, D1	D0, D1
Junio, 15	Sin sequía	D0, D1	D0, D1
Julio, 15	Sin sequía	Sin sequía	NR
Agosto, 15	Sin sequía	D0	NR
Septiembre, 15	Sin sequía	D0	NR
Octubre, 15	Sin sequía	D0	NR
Noviembre, 15	D0	D0, D1	NR
Diciembre, 15	D0	D0, D1	NR

Nota: D0: Anormalmente seco; D1: Sequía moderada; D2: Sequía severa; NR: no reportado.

Fuente: Elaboración propia con datos del Monitor de Sequía en México (MSM), de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

Relación de la variabilidad climática con la incidencia de plagas y enfermedades

El incremento del promedio de la temperatura ambiental a nivel mundial, en poco menos de 2 °C, causado por el rápido aumento en las concentraciones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera a escalas de 51 000 millones toneladas anuales (Gates, 2021), aunado a las sequías cada vez más intensas y recurrentes, pueden tener consecuencias impredecibles sobre las plagas y enfermedades de los cultivos (Fereres, 2018).

Uno de los efectos causados por el cambio climático es el desplazamiento, que desde 1960 se ha producido, de más de seiscientas plagas y enfermedades hacia los polos a una media de 2.7 km/año; en el caso de los hemípteros, ese desplazamiento ha resultado ser mucho mayor (13.7 km/año) (Bebber et al., 2013; Fereres, 2018).

Existen varios ejemplos que demuestran que la emergencia de nuevos

patógenos de plantas está asociada a la introducción y expansión de un insecto vector en una nueva zona geográfica (Ferrerés, 2015). La *Diaphorina citri* ha tenido la tendencia de entrar en una zona y, 7 años después, en promedio, transmite la bacteria *Candidatus liberibacter asiaticus* (Huanglongbing [HLB]). En México, el HLB se presentó por primera vez en 2009 (Robles et al., 2017). Esta enfermedad está considerada como la más devastadora y letal de la citricultura en el mundo (Bové, 2006). Un ejemplo de ello es lo ocurrido en el estado de Colima, México, que produjo en 2014 la mitad de lo que produjo en el 2012 a causa del HLB, según el delegado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) de la entidad.

Robles et al. (2017), realizaron un muestreo de 700 árboles de limón mexicano con distintos porcentajes de copa afectada por la enfermedad. En los árboles con sintomatología bien definida de HLB, se observó una reducción del número de frutos por metro cuadrado de copa: 45.8 %, con relación a limoneros asintomáticos.

Hernández et al. (2021), en un experimento de fertilización en naranja, obtuvieron rendimientos sumamente bajos, atribuible a la interacción de una sequía atípica que ocurrió de marzo a septiembre de 2019, misma que causó estrés hídrico persistente, con la presencia del Huanglongbing y el virus de la tristeza de los cítricos (VTC).

Estos factores redujeron la absorción y translocación de nutrimentos hacia las hojas. Lo anterior fue confirmado por Fu et al. (2017), quienes indicaron que la infección del HLB y el VTC actúa de manera sinérgica para debilitar los árboles, debido a que se altera la translocación de nutrimentos. Hernández et al. (2021) concluyen que la sequía, el VTC y el HLB son factores que limitan drásticamente el rendimiento de frutos en naranjos Marrs.

Con la finalidad de plantear alternativas de solución al problema de enfermedades y sequías, Alayón et al. (2014) y Rodríguez et al. (2014) encontraron que la producción de frutos en naranja se puede incrementar con la aplicación combinada de sulfato de amonio, fosfato monoamónico y nitrato de potasio al suelo y follaje.

Considerando que el Plan Nacional de Desarrollo, 2018-2024, plantea como una de sus principales metas, la construcción de un sector agropecuario productivo que garantice la seguridad alimentaria basada en estra-

tegias que impulsen la productividad mediante la inversión en el desarrollo de capital físico, humano y tecnológico, así como el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales con los que se cuenta, y que el Programa Sectorial de la Sader confirma lo anterior, se planteó realizar un diagnóstico de la situación de la naranja en el norte de Veracruz. Lo anterior, con el fin de determinar la reducción en el rendimiento de árboles de naranja en el norte de Veracruz, en un contexto de sequía intensa y presencia de HLB y VTC, y para promover la siembra de cobertera.

Metodología

El trabajo se realizó en comunidades del municipio de Ixhuatlán del Río, Papantla de Olarte, Álamo Temapache, Tihuatlán y Castillo de Teallo, del estado de Veracruz, México; localizados todos en el norte de Veracruz, denominado también la Huasteca baja. Con la finalidad de realizar un diagnóstico participativo y andragógico que nos ayude a recabar información sobre cuáles son los principales problemas que aquejan a los naranjeros, de modo que ellos planteen competencias para una capacitación andragógica, se elaboraron fichas de secuencia didáctica, elaboradas a partir del trabajo de Obaya y Ponce (2007) (tabla 10.2).

También se aplicaron 450 encuestas durante 2022 y 2023 por parte de servidores sociales, que incluían preguntas de rendimiento en 2022 y estimación del de 2023, para lo cual se contaron los frutos presentes en 10 árboles por hectárea; se asignó un peso de 185 gramos a cada fruto y el resultado se multiplicó por el número de árboles que había en una hectárea.

Resultados

Características de los citricultores

Para las condiciones de producción de naranja en el norte de Veracruz, el promedio de edad es de 58.5 años, por lo que se puede afirmar que hay un problema de envejecimiento de la población ocupada en esta región. La

Cuadro 10.2. Fichas de secuencia didáctica

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA		
Lugar:	Álamo Temapache, Veracruz de Ignacio de la Llave	
Área:	Innovación tecnológica	
Tema específico:	Recuperación de árboles	
Nombre del que elaboró la secuencia:	Gustavo Almaguer Vargas	
Número consecutivo de ficha:	1	
Localidad:	Adalberto Tejeda	
Número de productores participantes:	23	
Fecha y hora:	24 de enero	
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA VIDA REAL		
Las frecuentes sequías de 2019, 2021 y 2022 y el Huanglongbing (<i>Dragón amarillo</i>) mataron en promedio el 15 % de los naranjos de la región Huasteca; al resto les mataron ramas y raíces, de tal manera que no pudieron alimentarse bien, lo que ocasionó, en parte, que sus rendimientos fueran inferiores a los normales del periodo 2017-2020; por lo cual hay que buscar alimentar a los árboles, que no sea vía las raíces, con fertilizantes foliares y, sobre todo, adicionando bioestimulantes.		
3. ELABORACIÓN DE LA COMPETENCIA PARA LA VIDA		
Comprueba los beneficios de aplicar fertilizantes foliares con un bioestimulante hormonal a las plantas para mejorar la eficiencia de los insumos, reducir costos, revivir los árboles que todavía puedan salvarse y mejorar rendimiento. Reconoce la importancia de la química como parte de su vida cotidiana para resolver problemas en sus actividades diarias. Acciones por desarrollar en los tres ámbitos principales del aprendizaje:		
Elementos cognoscitivos (saber conocer):	Consolidación de actitudes y valores (saber ser):	Adquisición de destrezas y habilidades (saber hacer):
Acepta el papel fundamental de los biofertilizantes para recuperar los árboles y el rendimiento de ellos. Escucha los elementos teóricos de la fertilización foliar. Amplía sus conocimientos de la acidez y alcalinidad. Utiliza innovaciones para mejorar eficiencia de insumos y reducir costos. Investiga la reducción del pH por efecto del sulfato de amonio y urea. Discierne cuáles biofertilizantes mejoran el rendimiento. Aplica productos acidificados y evalúa su efecto.	Trabaja en equipo. Convive con sus compañeros. Experimenta cosas nuevas. Muestra confianza en sí mismo al preparar las mezclas.	Utiliza el potenciómetro. Mejora sus mezclas de insumos. Aplica ácido fosfórico o productos comerciales a la mezcla, con las debidas precauciones. Comprueba los efectos de diversas mezclas. Desarrolla habilidad procesional en la preparación de soluciones.
4. MATERIALES POR UTILIZAR		
Biofertilizante, potenciómetro, urea, sulfato de amonio, micronutrientes, ácido fosfórico, probetas, agua dura, Coca-cola®, papel, probetas, Impacto®, cuaderno.		
5. PRESENTACIÓN DE EVIDENCIAS DE LA COMPETENCIA (LO QUE SE ESPERA LOGRAR):		
Observará los efectos benéficos de la aplicación de bioestimulantes.		
Comprobará que se debe adicionar a los fertilizantes foliares, un bioestimulante.		
Demostrará que sabe trabajar en equipo.		
Trabjará con sus compañeros de manera cordial y cooperativa.		
Respetará otras opiniones.		
Muestra confianza en sí mismo.		
El productor demostrará que sabe utilizar el potenciómetro.		
Explicará la utilidad de acidificar las soluciones para la preparación de insumos.		
Demostrará que es capaz de preparar una solución al 5 de pH.		
Incorporará el aprendizaje obtenido en la preparación de sus soluciones.		

Fuente: Elaboración propia.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ([Sader / FAO, por sus siglas en inglés], 2014), consideran que hay ausencia de personas más jóvenes de edad productiva, debido a la migración nacional e internacional.

Con relación al nivel de escolaridad, 52% de los citricultores cuenta con estudios de educación básica primaria; 22%, secundaria; y el resto (26%), cuenta con estudios de educación media superior o superior (preparatoria o licenciatura). Por su parte, Almaguer et al. (2022) encontraron que 85% de los productores de maíz en Tlaxcala tenían una escolaridad promedio de 5 años.

De acuerdo con la Sader-FAO (2014) la escolaridad de los productores es importante por sus consecuencias en el manejo administrativo de las unidades de producción, la adopción de innovaciones y el uso de nuevas tecnologías. Aunado a lo anterior, Arizmendi y Mungaray (1994) señalan la poca colaboración que existe entre las instituciones educativas y las productivas. En este sentido, las educativas tienen la obligación de trabajar las necesidades del sector productivo.

Perfil productivo

Los encuestados reportar que los citricultores tienen, en promedio, 5.22 hectáreas con cítricos; lo que se considera, generalmente, como pequeña productividad. Con base en las encuestas, todos los productores tuvieron algunos árboles muertos y, prácticamente todos, aquellos que sobrevivieron, tenía algún grado de daño, expresado, sobre todo, en ramas muertas. En la actualidad, hay varias comunidades con al menos 100 hectáreas con árboles muertos o en vías de morirse, como Vara Alta, Tamatoco, Tierra Amarilla, en el municipio de Álamo Tamapache, pero también hay comunidades con el mismo problema en Cazonos, Tamiahua, Tuxpan y Fortín.

El problema causado por el cambio climático en esta región es muy grave, ya que existen posibilidades de que toda una región, que producía cerca de 50% de la naranja a nivel nacional, desaparezca como tal si persisten las sequías. Por lo pronto, en 2 años (2022-2023), los rendimientos han

disminuido drásticamente, lo que ocasiona que los ingresos de los citricultores se reduzcan a niveles muy bajos. De hecho, durante el 2022, el rendimiento cayó en promedio 66.66% con respecto al obtenido durante el 2018, en el que se cosecharon 5.22 toneladas por hectárea; mientras que el rendimiento estimado durante el año 2023 fue en promedio de 4.8 toneladas. El 50 % de árboles de naranjo están en vías de morir, si no se mitiga el daño del HLB. Los árboles de la región se han secado desde 5 hasta 100%.

Este panorama fue el resultado de una sequía extrema que tuvo lugar, sobre todo, entre los años 2021 y 2022, acentuado por el fenómeno de La Niña, otro efecto del cambio climático que, junto al ataque del HLB y el VTC, están matando a los árboles y dañando severamente, en su mayoría, a aquellos que han sobrevivido.

Consideración final

Se sugirió a los productores prácticas culturales para mitigar, en la medida de lo posible, estos daños; sobre todo con poda, fertilizaciones del suelo y aplicación de bioestimulantes al follaje, así como siembra de coberteras vivas.

Referencias

- Alayón, L. P., Rodríguez, V. A., Piccoli, A. B., Chabbal, M. D., Giménez, L. I., y Martínez, G. C. (2014). Fertilización foliar con macronutrientes a plantas de naranja Valencia late (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y Tangor Murcott (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuvo*, 46(1), 87-96.
- Almaguer Vargas, G., y Ayala-Garay A. (2014). Adopción de innovaciones en limón 'Per-sa' (*Citrus latifolia* Tan.) en Tlapacoyan Veracruz. Uso de Bitacora. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(1), 89-100.
- Almaguer Vargas, G., Ayala-Garay, A., Sánchez, H. M., y Martínez, T. G. (2022). La producción de maíz en Huamantla, Tlaxcala. *Textual*, (80), 157-180.
- Arizmendi, R., y Mungaray, A. (1994). Una introducción a la relación entre educación y desarrollo económico en México. *Comercio Exterior*, 44(3), 193-198.
- Bautista, Y. (2023). *Análisis de cambio climático en la región de la huasteca baja del estado de Veracruz* [Tesis de ingeniería, Instituto Tecnológico Superior de Chicontepec].

- Bebber, D. P., Ramotowski, M. A. T., y Gurr, S. J. (2013). Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature Climate Change*, 3, 985-988.
- Bové, J. M. (2006). Huanglongbing: A Destructive, Newly-Emerging, Century-Old Disease of Citrus. *Journal of Plant Pathology*, 88(1), 7-37.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2022). *Censo Agropecuario 2022*. INEGI.
- Fereres, A. (2015). Insect vectors as drivers of plant virus emergence. *Current Opinion in Virology*, 10, 42-46.
- Fereres, A. (2018). Impacto del cambio climático sobre los insectos vectores de patógenos de plantas. *Phytoma*, 300, 105-109.
- Fu S., J. Shao, C. Paul, C. Zhou and J. S. Hartung (2017) Transcriptional analysis of sweet orange trees co-infected with *Candidatus liberibacter asiaticus* and mild or severe strains of Citrus tristeza virus. *BMC Genomics*, 18:837,
- Gates, B. (2021). *Cómo evitar un desastre climático*. Vintage.
- Hernández-Morales, L., García-Pérez, E., Cortés-Flores, J. I., Villegas-Monter, Á., y Mora-Aguilera, J. A. (2021). Fertilización integral en árboles de naranjo 'Marrs' en producción con síntomas de virus de la tristeza de los cítricos (VTC) y Huanglongbing (HLB). *Revista de Fitotecnia Mexicana*, 44(1), 59-66.
- Obaya-Valdivia, A., y Ponce-Pérez, R. (2007). La secuencia didáctica como herramienta del proceso enseñanza aprendizaje en el área de Químico Biológicas. *ContactoS*, 63, 19-25.
- Robles-González, M. M., Orozco-Santos, M., Manzanilla-Ramírez, M. A., Velázquez-Monreal, J. J., y Carrillo-Medrano, S. H. (2017). Efecto del HLB sobre el rendimiento de limón mexicano en Colima, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1101-1111.
- Rodríguez, V., Cabrera, S., Martínez, G., Chabbal, M., y Mazza, S. (2014) Fertilización foliar con zinc y manganeso en huertos de naranjo 'Valencia late'. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 100-105.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2013). *Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013- 2018*. Sagarpa.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación / Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Estudio sobre el envejecimiento de la población rural en México*. Sagarpa / FAO.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural / Dirección General de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*. Sader / DGSIA.
- Servicio Meteorológico Nacional / Comisión Nacional del Agua (s.f.) *Monitor de Sequía en México: 2021, 2022 y 2023*. SMN / Conagua.
- Secretaría de Gobernación (2018). *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. Segob.
- Valdés R., O. A. (2022). Desastre compuesto: sequía y Covid-19 en Veracruz, México. *Interconectando Saberes*, 7(14): 15-27.

11. El complejo vitivinícola de la Pampa, Argentina: actores, desafíos y escenarios prospectivos a 2030



ROBERTO CARLOS MARIANO*
ROCÍO LUJÁN GONZÁLEZ**
SANTIAGO AGUSTÍN PÉREZ***
SANTIAGO FERRO MORENO****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.11>

Resumen

Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) incluyen retos y desafíos para los entramados agroalimentarios, los cuales se traducen y concretan en diversos complejos productivos vitivinícolas; sobre todo para los países del sur global. La importancia de la producción frutícola de la vid se refleja en relevantes indicadores socioeconómicos como el valor bruto de la producción, exportaciones, puestos de trabajo, consumo, producción, entre otros. Además, el estudio de los productos vitivinícolas incluye datos relacionados con el consumo per cápita, el desarrollo tecnológico y sus vinculaciones con la gastronomía y el turismo local. Para ello, se requiere dilucidar el análisis de políticas, lineamientos, programas, estrategias y acciones de organismos pertenecientes a los Estados, organizaciones con y sin fines de lucro, y a la sociedad civil, en general, que conforma los entramados productivos. En este capítulo se plantean argumentos relacionados con la construcción de escenarios estratégicos y prospectivos para la matriz productiva en La Pampa, Argentina respecto de: (a) los procesos de agregado valor que realizan;

* Doctor en Ciencias Agrarias y Forestales. Profesor, Universidad Nacional de La Pampa. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4889-152X>

** Doctoranda en Ciencias de la Administración. Profesora, Universidad Nacional de La Pampa. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2056-2743>

*** Doctor en Ciencias de la Administración. Profesor, Universidad Nacional de La Pampa. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7679-8819>

**** Doctor en Ciencias Económica. Profesor, Universidad Nacional de La Pampa. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5131-3662>

(b) la generación de puestos de trabajo directos e indirectos; (c) los efectos multiplicadores en las economías provincial y microrregionales; (d) el aporte a la diversificación de matriz productiva; y (e) el impacto en la ocupación y el arraigo territorial.

Palabras clave: *viticultura, escenarios prospectivos, Argentina.*

Introducción

El complejo productivo vitivinícola cumple un rol significativo en las economías iberoamericanas, especialmente en la Argentina (Hernández, 2021). La producción frutícola de la vid es la que mayor superficie ocupa en las plantaciones frutales de este país, específicamente en la región de Cuyo (Sánchez, 2020). El complejo vitivinícola tiene la capacidad de marcar positivamente en varios objetivos y metas de la *Agenda 2030* de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Montesinos y Cerdeño, 2020). Por su parte, los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) plantean desafíos a los entramados agroalimentarios que deben ser materializados en estrategias privadas y políticas públicas que mejoren los aportes al cumplimiento de la agenda global (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal], 2018). Esta agenda para el desarrollo sostenible de los territorios se encuentra materializada en 17 ODS medidos por indicadores con metas precisas y que pretenden ser referencia en la gestión futura de la sostenibilidad del planeta y de todos sus habitantes actuales y futuros (Cepal, 2018).

La construcción de estudios prospectivos representa una oportunidad para poder pensar de forma colaborativa y anticipatoria situaciones futuras que permitan configurar en distintos escenarios una agenda de políticas públicas (Aguilar Torrico et al., 2018). El cumplimiento de varios de los ODS está vinculado a políticas, lineamientos, programas, estrategias y acciones de organismos pertenecientes a los Estados, organizaciones con y sin fines de lucro y a la sociedad civil en general que conforman los entramados productivos (Camarán et al., 2019; Intini et al., 2019).

En Argentina, el complejo vitivinícola ocupa posiciones secundarias en lo que respecta a indicadores socioeconómicos como el valor bruto de la

producción, exportaciones, puestos de trabajo, consumo, producción, entre otros (Hernández, 2021; Observatorio Vitivinícola Argentino [OVA], 2022). Aun así, el país es uno de los principales actores a nivel mundial, tanto por la calidad de los productos vitivinícolas obtenidos (con el Malbec como insignia), como por el consumo per cápita, el desarrollo tecnológico y sus vinculaciones con la gastronomía y el turismo local. El complejo genera aproximadamente 106 000 empleos directos y 280 000 indirectos a nivel nacional (OVA, 2022).

En La Pampa, la matriz productiva está orientada, preponderantemente, al sector de comercio y servicios, así como a la producción primaria agrícola-ganadera, con poca participación relativa de procesos de agregado de valor en la economía, productos regionales y comercio provincial. En este marco, las tramas productivas regionales han sido identificadas como estratégicas y relevantes dentro del sector provincial, principalmente por (a) los procesos de agregado de valor que realizan, (b) la generación de puestos de trabajo directos e indirectos, (c) los efectos multiplicadores en las economías provincial y microrregionales, (d) el aporte a la diversificación de la matriz productiva y, (e) el impacto en la ocupación y el arraigo territorial.

La producción primaria de vid en La Pampa se concentra en la región sur, que cuenta con disponibilidad de agua dulce del Río Colorado para riego, generalmente presurizado. En el año 2020 se encontraban en producción unas 235 hectáreas (ha) de vid (Subsecretaría de Estadísticas y Censos de La Pampa [SEYC], 2021). Además, entre Gobernador Duval, 25 de Mayo y Casa de Piedra se concentra casi la totalidad de la superficie plantada de vid provincial. El Ente Provincial del Río Colorado (EPRC) es un organismo que depende del Ministerio de Producción de la Provincia de La Pampa y tiene a su cargo el desarrollo de las áreas regables, entre las cuales se encuentran los proyectos del área Casa de Piedra, con más de 9 000 ha posibles bajo riego; así mismo, está a cargo de la búsqueda de inversores privados que adquieran las parcelas y dispongan del capital para poner productivamente en marcha el proyecto.

En los últimos años, las inversiones vitivinícolas en la provincia han sido relevantes en el aprovechamiento de las condiciones agroecológicas regionales y el desarrollo potencial de las infraestructuras disponibles. A esto se le suman inversiones en bodegas de diversos tamaños, en distintas locali-

dades provinciales; la conformación de la Cámara Vitivinícola de La Pampa (Cavilpa), y la reciente creación de la Mesa Vitivinícola de La Pampa, que congrega a los diversos actores públicos, privados e institucionales del sector. Además, la provincia de La Pampa lleva adelante el proyecto “La ruta de los vinos pampeanos” con el fin de generar y desarrollar actividades de enoturismo, que fue lanzado en el marco de la Feria Internacional de Turismo de América Latina (2021) como propuesta del gobierno local en conjunto con el Ministerio de Producción y el Ente del Río Colorado para promocionar la producción e incentivar inversiones.¹

Ante el crecimiento del complejo provincial y las perspectivas de desarrollo, resulta necesario realizar un análisis prospectivo y estratégico empalmado las posibles dinámicas futuras con la agenda de desarrollo sustentable para el año 2030 en La Pampa. El objetivo general del presente capítulo es desarrollar un análisis prospectivo estratégico del complejo vitivinícola de la provincia de La Pampa, Argentina. Específicamente, se pretende (a) desarrollar un análisis estructural y funcional del complejo vitivinícola provincial; (b) identificar actores y variables clave para el futuro del complejo; (c) analizar la relación entre el desempeño del complejo y los ODS; y (d) construir escenarios prospectivos para el complejo vitivinícola de la provincia de La Pampa para el año 2030.

El presente capítulo se estructura en cinco apartados: la introducción a la temática, el desarrollo del marco teórico, un marco metodológico, los resultados del estudio y las principales reflexiones. Se propone un marco teórico orientado a los entramados agroalimentarios y la prospectiva; enseguida, se detalla la metodología empleada en el capítulo para la concreción de los objetivos indicados. La primera parte de los resultados plantea un análisis descriptivo del complejo vitivinícola provincial; se presentan actores y variables clave para el futuro del complejo, y se sigue con un análisis de la incidencia de las variables con los ODS; por último, se proyecta la construcción de escenarios para el complejo vitivinícola de la provincia. El último apartado analiza y pone en valor los principales aportes y reflexiones del trabajo.

¹ Disponible en <https://www.laarena.com.ar/la-pampa/2021-9-7-13-30-0-disenan-un-camino-del-vino-pampeano>

Marco conceptual

Un sistema, entramado o complejo agroalimentario sostenible se encuentra integrado por actores, actividades, articulaciones, bienes, servicios, recursos, factores y capacidades que se conjugan desde el consumo hasta la producción para lograr objetivos comunes y aportes a territorios particulares (Ericksen et al., 2009; Mariano y Ferro Moreno, 2020). En estos sistemas complejos existe la necesidad de definir y emplear diagnósticos para proponer y construir miradas de largo plazo (Toro et al., 2010; Mariano, 2020).

La realidad actual desafía las capacidades de las organizaciones públicas y privadas de los entramados agroalimentarios para producir información de futuro y conocimientos de calidad que contribuyan a la resolución de problemáticas desde miradas transdisciplinarias y complejas que se adecuen a los procesos socioculturales, ambientales, económicos e institucionales (Papagno et al., 2021; Mariano et al., 2022). Estas problemáticas pueden ser explicadas a partir de la comprensión de las indeterminaciones, incertidumbres, fenómenos aleatorios, intervenciones e interacciones subjetivas de las capacidades sociales que se ponen en juego (Mariano et al., 2022).

La prospectiva se encuentra vinculada al enfoque de la complejidad, al abordaje inter y transdisciplinario, a la reflexión para la acción y a la construcción social de futuros posibles (Balestri y Ferro Moreno, 2015; Mariano y Ferro Moreno, 2020). La prospectiva requiere de un trabajo con un enfoque sistémico y complejo de información de alta calidad, y relevante en cuanto al compromiso y la participación activa de los actores sociales (Medina Vásquez et al., 2014; Papagno et al., 2021).

Los objetivos de desarrollo sustentable 2030 conforman una agenda global que debe ser traducida y adaptada a los territorios, entramados productivos y organizaciones, con el fin de comprender los aportes, los ejes de mejora y las acciones necesarias para contribuir al logro de estos y a sus metas específicas. Son definiciones que permiten comprender cuáles son los resultados buscados a nivel mundial, nacional, provincial, local y organizacional para el año 2030 (ONU, 2015). Los ODS buscan abordar la desigualdad de manera inclusiva y con amplio alcance, incluyendo la erradicación de la pobreza y el hambre, asegurando el consumo y la producción

sostenible, además de promover sociedades inclusivas y pacíficas. Contar con este tipo de orientaciones de mediano plazo permite mejorar la potencia de los estudios prospectivos y estratégicos, posibilitando a los sistemas organizados interpretar y adaptar la agenda a sus particularidades.

Metodología

El enfoque del capítulo será de tipo descriptivo, cualitativo y estratégico. En primera instancia, se realiza un diagnóstico prospectivo del complejo vitivinícola a partir de una revisión sistemática de estadísticas oficiales, así como de trabajos científicos y técnicos recientes; el diagnóstico se completa con encuestas aplicadas a actores calificados del complejo vitivinícola provincial. Las búsquedas de antecedentes se desarrollaron en bases de datos electrónicas y repositorios institucionales internacionales, nacionales y provinciales. Con base en esta revisión se seleccionan y analizan variables particulares del complejo con incidencia futura en el desempeño de este y se identifican a los actores partícipes del complejo de La Pampa; además, se plantean las estructuras, funciones y relaciones entre ellos, sintetizados en un flujograma.

Para complementar la información secundaria y obtener la perspectiva estratégica de los actores, se confeccionó un cuestionario abierto *online* indagando desafíos y fortalezas nacionales y regionales del complejo actual y futuro. Las encuestas fueron entregadas a un grupo conformado por hombres y mujeres empresarios, funcionarios públicos y técnicos vinculados. De un total de 10 actores clave mapeados contestaron ocho. Con base en el sector al que pertenecen, estos integrantes encuestados se subdividen en: tres en producción primaria y transformación; dos en distribución mayorista, minorista; 1 para ciencia y técnica; 1 en producción primaria; y uno en sector público nacional. Según su antigüedad en el sector vitivinícola, 62 % de ellos lleva más de 6 años en la actividad; 25 %, menos de 3 años; y el restante 13 %, entre 3 y 6 años. Se localizan: 2 en 25 de Mayo; 2, en Santa Rosa; 2 en Casa de Piedra; 1 en Abramo, y 1 en Gobernador Duval. Como resumen de las variables obtenidas se desarrollaron nubes de palabras a partir de la herramienta WordClouds, que permite comprender visualmen-

te la intensidad y repetición de las palabras más usadas en las respuestas de los participantes encuestados.

A partir del procesamiento, selección y análisis de toda la información obtenida se identificaron variables claves actuales y de futuro del complejo vitivinícola provincial. Para su mejor interpretación, se clasificaron en: (a) desafíos nacionales actuales (DNA); (b) desafíos actuales regionales y locales (DARYL); (c) fortalezas regionales y locales (FRYL), y (d) desafíos futuros a 2030 (DF230).

La información generada se sintetiza en una tabla de incidencias cruzadas, relacionando los ODS con las variables clave del complejo. De acuerdo con las metodologías de medición usadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés, 2018a, 2018b, 2021), se propone la siguiente valoración cualitativa dispuesta en la siguiente escala de Likert (escala de 1 a 3); en cuya graduación el valor (1) corresponde a una baja incidencia entre las variables claves y los objetivos de desarrollo sostenible; mientras que en (2) la incidencia no es tan evidente en la actualidad, pero puede llegar a tener incidencia media en el mediano plazo; y en (3), las variables clave inciden directamente en el desempeño del ODS.

Como cierre, se construyen escenarios prospectivos a 2030 para el complejo vitivinícola, planteados a partir de hipótesis sobre el futuro de las tres variables clave: optimista, tendencial y pesimista, basados en la propuesta metodológica de Medina Vásquez y Ortegón (2006) y Viera et al., (2022).

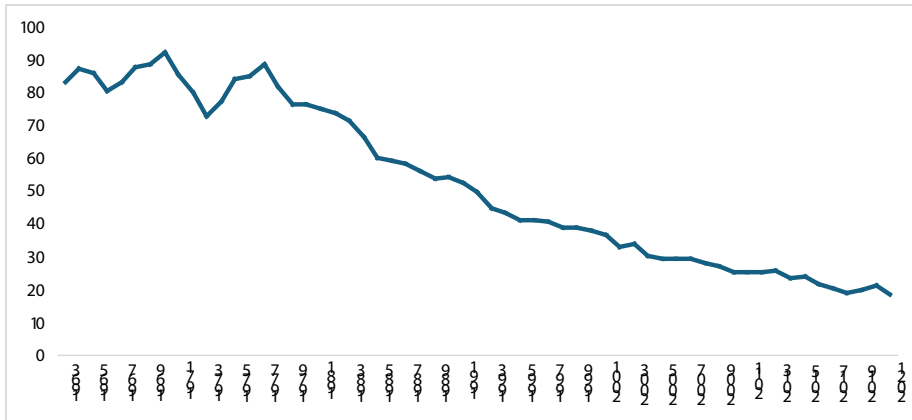
Resultados

Descripción del complejo vitivinícola provincial

Argentina es uno de los principales países consumidores de vino del mundo; en el año 2021, obtuvo la posición número 15 en consumo per cápita (unos 24.3 litros / año), la número 9 en volumen total consumido, y la número 161 como país importador (Organización Internacional de la Viña y el Vino [IOVW], por sus siglas en inglés, 2022). Considerando la dinámica en el tiempo, la tendencia del consumo per cápita nacional ha decaído

(gráfica 11.1). Diversos aspectos permiten explicar esta caída; entre ellos, la baja del poder adquisitivo de los consumidores, los aspectos preferenciales de nuevos consumidores, y la competencia con otros productos (Cabezón, 2019).

Gráfica 11.1 Consumo de vino per cápita en Argentina



Fuente: OVA (2022).

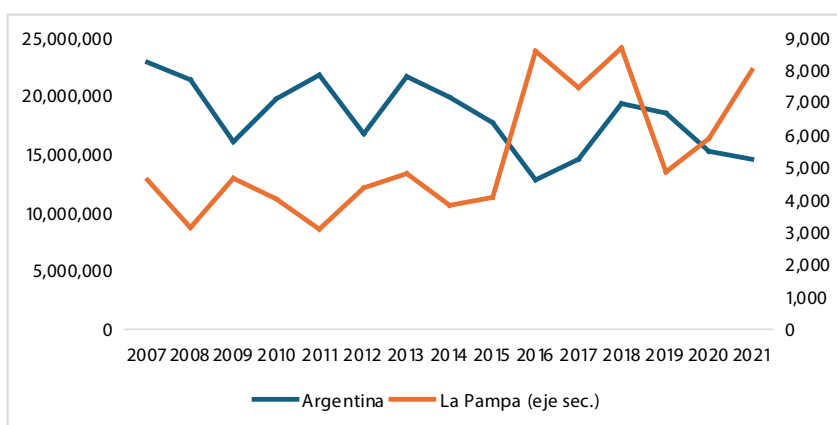
En cuanto a la producción de vino, Argentina ocupa el lugar número 7 en producción y el 8 en exportación a nivel mundial (IOWV, 2022). Mendoza elabora 72 % del total de hectolitros de vinos del país y San Juan 22.5 % (OVA, 2022). La provincia de La Pampa produjo 7 977 hectolitros en el año 2021; es decir, 35 % más que en el año 2020. Como se puede apreciar en la gráfica 11.2, la tendencia de la producción nacional es negativa y la de La Pampa positiva.

Argentina cuenta con unas 215 000 hectáreas plantadas, aunque con tendencia decreciente y concentración de los viñedos. Desde 1977 la cantidad de hectáreas de vid viene en descenso (OVA, 2022); por ejemplo, en este período se perdieron más de 135 000 hectáreas en Argentina, cerca de 38 % de la superficie. La cantidad de viñedos también fue decreciendo, de unos 53 000 viñedos en la década de 1970, a menos de 24 000 en la actualidad, pasando de 6.2 hectáreas, en promedio, por viñedo, a tan sólo 9.1 hectáreas en 2019 (gráfica 11.3).

La provincia de La Pampa cuenta con 312 hectáreas en producción; 95 %

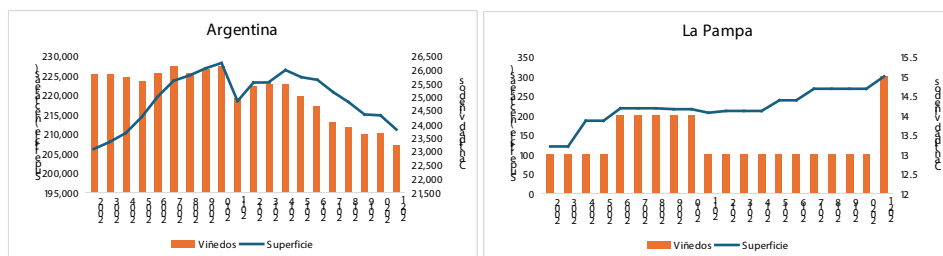
es considerada de alta calidad enológica (OVA, 2022). La mayoría de los viñedos se encuentran en la ribera del Río Colorado (microrregión 10), y el resto, en el centro y norte de la provincia (figura 11.1). El tamaño medio del viñedo en la provincia es de 14.9 hectáreas, superior al promedio nacional. Además, 86% de la superficie cultivada en la provincia es de color tinto, mientras que 12.5% es de uva blanca, y el restante 1.5% de uva y rosado (OVA, 2022).

Gráfica 11.2. Producción de vinos en Argentina y La Pampa 2007-2021 (hectolitros)



Fuente: OVA (2022).

Gráfica 11.3. Superficie y viñedos en Argentina y La Pampa (2002-2021)

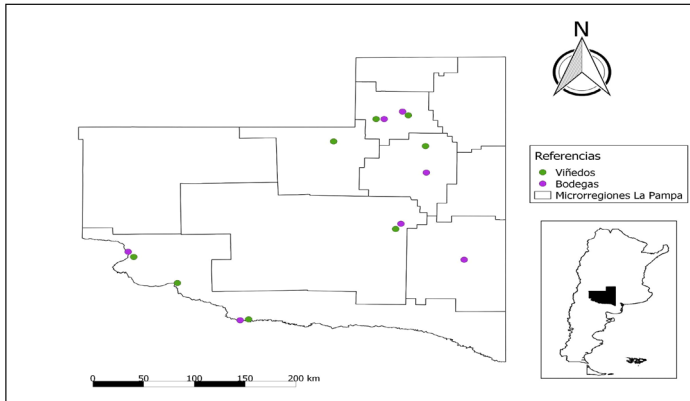


Fuente: OVA (2022).

La provincia de La Pampa cuenta con 312 hectáreas en producción; 95% es considerada de alta calidad enológica (OVA, 2022). La mayoría de los viñedos se encuentran en la ribera del Río Colorado (microrregión 10), y

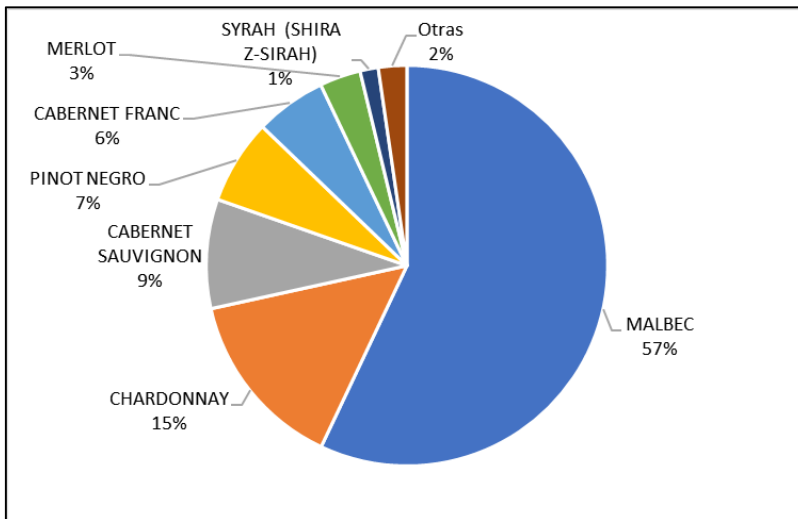
el resto, en el centro y norte de la provincia (figura 11.1). El tamaño medio del viñedo en la provincia es de 14.9 hectáreas, superior al promedio nacional. Además, 86 % de la superficie cultivada en la provincia es de color tinto, mientras que 12.5 % es de uva blanca, y el restante 1.5 % de uva y rosado (OVA, 2022).

Figura 11.1. Mapa vitivinícola de la provincia de La Pampa



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 11.4. Varietales plantadas en La Pampa



Fuente: OVA (2022).

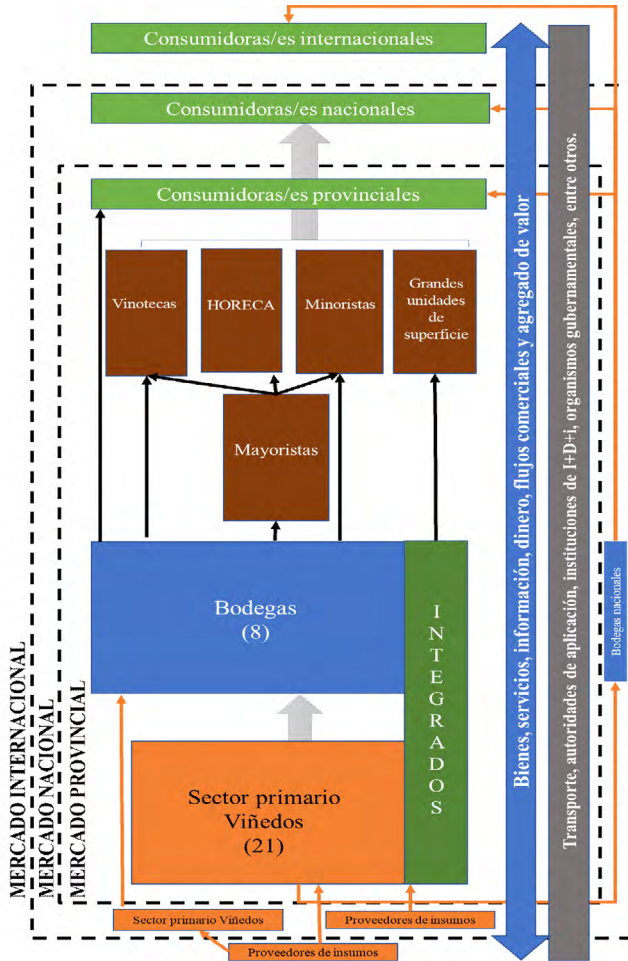
El volumen cosechado en Argentina viene en descenso; de unos 30 millones de quintales cosechados en 2007, se pasó a menos de 22 millones en 2021. A contra tendencia nacional, La Pampa viene aumentando la edad de los viñedos y su producción, acercándose a rendimientos por hectárea cercanos a los promedios nacionales. Los varietales más plantados y procesados en La Pampa son el Malbec, el Chardonnay y el Cabernet Sauvignon; entre los tres suman casi 80% de la superficie plantada (gráfica 11.4).

El complejo vitivinícola provincial se encuentra conformado por un conjunto de actores que cumplen funciones diversas con el fin de satisfacer la demanda final del consumo de vino. El producto final más relevante es el vino envasado en botella, que se obtiene a partir de la producción y procesamiento de la vid. El complejo se puede subdividir en cinco subsectores según sus funciones: consumo final, distribución, producción agroindustrial, producción primaria y actores transversales a todo el complejo (figura 11.2).

La elaboración del vino comienza con el prensado de la uva recolectada de los viñedos, para luego obtener el mosto en las bodegas; después, el proceso continúa con las operaciones de embotellado, y concluye con la distribución a mayorista y minorista, para alcanzar así al consumidor final. Cabe mencionar que el proceso principal, que ocurre en esta transformación, es la fermentación alcohólica.

Los principales actores identificados del complejo vitivinícola provincial son:

- Consumidores provinciales, nacionales e internacionales.
- Distribuidores mayoristas, minoristas especializados, genéricos y todo el canal hasta el consumidor final de hoteles, restaurantes y cafés (HORECA).
- Sector público y organizaciones sin fines de lucro: EPRC, Municipio de Gobernador Duval, Agencia de Extensión Rural (AER), 25 de Mayo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), FA-UNLPam, Ministerio de la Producción, Cámara Vitivinícola de La Pampa.
- Bodegas agroindustriales: Bodegas Del Desierto (25 de Mayo), Quietud (Santa Rosa), Fincas del Duval (Gobernador Duval), Estilo

Figura 11.2. *Flujograma del complejo vitivinícola de La Pampa*

Fuente: Elaboración propia.

152 (General Acha), La Rebelde (Abramo), Pichi Huinca, Bodega El Rastro (Caleufú), y una en construcción por parte del Gobierno provincial en la localidad de Casa de Piedra. Dentro de estas bodegas provinciales se procesan diferentes marcas comerciales de productos, entre los que se encuentran: Desierto 25 y Desierto Pampa (Bodegas del Desierto), Lejanía (Finca del Duval), Antojos (Bodega La Rebelde), Quietud (Quietud), Estilo 152 (Estilo 152), Pichi Huin-

- ca, El rastro (El Rastro), Arumcó (Gobernador Duval), Planicie (Casa de Piedra), Capdeville (Telén).
- Viñedos: Viñas de Bodega del Desierto (25 de Mayo), Viñas de Fin-
cas del Duval, Estación Experimental del EPRC (Casa de Piedra), Ca-
tena Zapata (Casa de Piedra), Familia Cassone (Casa de Piedra), Vi-
ñas en Pichi Huinca, Viñas en General Acha, Viñas en Telén, Viñas
en Caleufú y Viñas en Winifreda.
 - Proveedores de insumos: Viveros extraprovinciales (fertilizantes,
plantines, bioestimulantes), empresas productoras de artículos plás-
ticos (portabotellas, cajas recolectoras), fábricas de maquinarias y
equipamientos y tonelerías, fábricas de corchos, fábrica de botellas
de vidrio, otros insumos específicos.

Desafíos, oportunidades y variables clave de futuro

De acuerdo con las perspectivas de los actores encuestados, se plantearon 46 variables clave que fueron clasificadas y analizadas según la intensidad de respuesta. A continuación, se detallan las variables por cada uno de los apartados con la intensidad absoluta anotada entre paréntesis:

Desafíos nacionales actuales

Particularmente, los desafíos nacionales son: (a) la infraestructura de servicios y conectividad a nivel nacional (rutas en mal estado) (3 encuestados); (b) el costo de los fletes y la calidad de los servicios logísticos disponibles (2 enc.); (c) el costos y la disponibilidad de insumos específicos, así como problemas de incorporación de tecnologías importadas (3 enc.); (d) los altos costos de producción y de inversión inicial que favorecen a la concentración y limitan la entrada de micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes) (3 enc.); (e) la escasez en cantidad y calidad de mano de obra calificada (4 enc.); (f) el abandono y pérdida de viñedos de pequeña escala (concentración de la actividad) (1 enc.); (g) los impactos del cambio climático en la producción de vid con fenómenos cada vez más extremos (4 enc.); (h) el contexto inflacionario, incertidumbre en políticas públicas, distorsión de los precios relativos y negocio

de largo plazo en un contexto macroeconómico inestable estructuralmente (4 enc.); (i) las fluctuaciones importantes en la producción primaria (1 enc.); (j) los viñedos antiguos con genética de mala calidad y variedades obsoletas (1 enc.); (k) la concentración de mercado creciente en la producción, industrialización, comercialización y exportación (2 enc.); (l) la concentración de proveedores clave de la producción e industrialización (1 enc.); (m) los altos niveles de carga impositiva (1 enc.); y (n) la burocracia (1 enc.).

De esta manera, las palabras *insumos*, *costos*, *rutas* y *viñedos* fueron las variables que mayor preponderancia tuvieron en las respuestas (figura 11.3).

Figura 11.3. Intensidad de palabras en desafíos nacionales



Fuente: Elaboración propia con software Word Clouss.

Desafíos actuales regionales y locales

Los desafíos actuales consisten en: (a) la disponibilidad de mano de obra especializada y capacitada para las etapas clave de los procesos productivos (5 encuestados); (b) la mala conectividad en rutas con largas distancias a proveedores y centros de consumo (2 enc.); (c) los altos costos y discontinuidad en los servicios de logística (2 enc.); (d) la falta de infraestructura agroindustrial con baja capacidad de procesamiento y escasez de servicios especializados (3 enc.); (e) la falta de financiamiento acorde a la naturaleza del sector (2 enc.); (f) problemas en la disponibilidad de estabilidad y calidad de agua para riego (2 enc.); (g) las plantaciones jóvenes de baja producción actual (1 enc.); (h) la baja inversión privada y necesidad de altas inversiones para entrar al

negocio de producción o industrialización (3 enc.); (i) la escasa visibilización y promoción de los vinos pampeanos en el contexto nacional e internacional (2 enc.); (j) el largo periodo de recuperación de inversión (1 enc.); y (k) la baja cantidad e inestabilidad laboral de los productores en el negocio (1 enc.).

En el gráfico de intensidad de la figura 11.4 para los desafíos regionales y locales, las palabras que más se repitieron fueron *costo*, *laboral*, *industria*, *producción* e *inversión*.

Figura 11.4. Intensidad de palabras en desafíos regionales y locales



Fuente: Elaboración propia con software Word Clouss.

Fortalezas regionales y locales

Se encontraron las siguientes fortalezas: (a) la presencia del INTA y apoyo del Gobierno Provincial (articulación público-privada e investigación) (5 enc.); (b) la evolución y tendencia en aumento de las principales variables locales (producción, plantación, agroindustrialización) (2 enc.); (c) la genética de alto potencial en las plantaciones, adaptada a las demandas del mercado actual y a las demandas sanitarias (1 enc.); (d) el alto potencial productivo por disponibilidad de zonas bajo riego en condiciones edafo-climáticas favorables (6 enc.); (e) la infraestructura y disponibilidad de agua en cantidad y calidad (3 enc.); (f) contar con pocos actores que se encuentren unidos y organizados en la cámara provincial (2 enc.); (g) el sentido de pertenencia de la población local a los productos pampeanos (1 enc.); (h) la calidad de las materias primas (uvas) y el buen rendimiento agroindustrial

(2 enc.); (i) la diversificación de variedades de producción (2 enc.); (j) la pertenencia a la región patagónica, con lo cual tenemos derecho al uso de la Indicación Geográfica Patagonia Argentina, reconocida internacionalmente (2 enc.).

Los conceptos de *agua*, *productos*, *patagónica*, *articulación*, *público-privada*, *apoyo* y *calidad* son los que mayor preponderancia tuvieron en la nube obtenida (Figura 11.5).

Figura 11.5. Intensidad de palabras en fortalezas regionales y locales



Fuente: Elaboración propia con software Word Clouss.

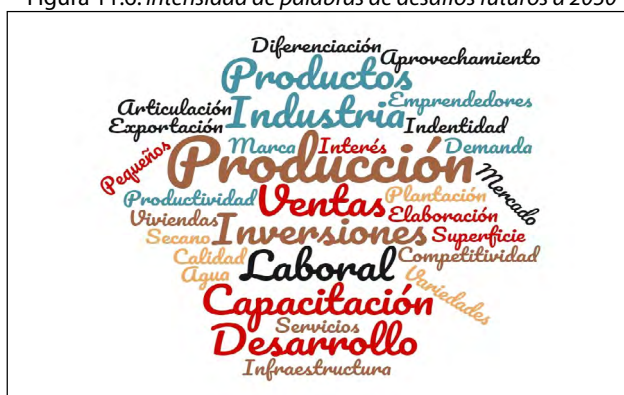
Desafíos futuros del complejo vitivinícola de La Pampa a 2030:

Los principales desafíos futuros encontrados fueron los siguientes: (a) las inversiones públicas y privadas para mejorar la infraestructura agroindustrial y de servicios, y aumentar la productividad (4 enc.); (b) agregar valor a productos terminados para consumo final (3 enc.); (c) la adopción de tecnologías productivas adaptadas a la realidad local y regional y a las exigencias de mercado (2 enc.); (d) la adopción de tecnologías para agregar valor, mejorar la calidad de los productos finales y aumentar la capacidad industrial al ritmo del crecimiento productivo (2 enc.); (e) la disponibilidad de mano de obra calificada en cantidades necesarias y cualificación de la mano de obra local (2 enc.); (f) el desarrollo de marca o certificación provincial para diferenciar productos finales y generar identidad dentro y fuera del complejo (3 enc.); (g) la infraestructura de viviendas para personal contratado (2 enc.); (h) el

desarrollo de nuevos mercados (4 enc.); (i) mejorar la calidad de los productos finales (1 enc.); (j) el fortalecimiento de los pequeños y medianos productores emprendedores vitícolas para generar, de este modo, las fuentes de trabajo necesarias (1 enc.); (k) la articulación entre provincias para la gestión de los recursos hídricos (1 enc.).

Las variables de *producción*, *capacitación*, *desarrollo*, *productos* e *industria* son los aspectos que mayor preponderancia tuvieron en las respuestas de los actores (figura 11.6).

Figura 11.6. Intensidad de palabras de desafíos futuros a 2030



Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos se plantea una tabla resumen y las siglas abreviadas de las variables clave (vc) actuales y futuras que fueron seleccionadas del complejo vitivinícola en La Pampa (tabla 11.1).

Relaciones entre las variables clave con los ODS a 2030

Existen varios trabajos que abordan la incidencia del sector vitivinícola en el aporte al cumplimiento de la *Agenda 2030* (Fecovita, 2019; IOVW, 2022; Conrado, 2020; Salas Zorrilla y Farreras, 2021), dejando en evidencia que no todos los ODS mantienen relaciones relevantes con el sector bajo estudio. El grado de contribución de las organizaciones públicas o privadas a cada ODS, así como los riesgos y oportunidades que representan individualmen-

Tabla 11.1. Resumen de las variables clave del complejo vitivinícola en La Pampa

<i>Estructurantes</i>	<i>Variables clave (VC)</i>	<i>Abreviatura</i>
Desafíos nacionales actuales (DNA)	a) Infraestructura y servicios	DNAa
	c) Costos y disponibilidad de insumos	DNAc
	d) Altos costos productivos e inversión inicial	DNAd
	e) Falta de mano de obra calificada	DNAe
	g) Condiciones climáticas cambiantes y extremas	DNAg
	h) Inestabilidad macroeconómica	DNAh
Desafíos actuales regionales y locales (DARyL)	a) Mano de obra especializada	DARyLa
	d) Infraestructura agroindustrial y servicios conexos especializados	DARyLd
	h) Baja inversión privada	DARyLh
Fortalezas regionales y locales (FRyL)	a) La presencia institucional	FRyLa
	d) El alto potencial productivo	FRyLd
	e) La disponibilidad y calidad de agua	FRyLe
Desafíos futuros a 2030 (DF2030)	a) La búsqueda de inversiones que incrementen la productividad sector	DF2030a
	b) El agregado de valor a los productos obtenidos	DF2030b
	f) El desarrollo de marca e identidad provincial	DF2030f
	h) La búsqueda de nuevos mercados para los productos finales	DF2030h

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11.2. Relaciones de los ODS y el complejo vitivinícola regional y local

<i>ODS</i>	<i>Variables clave del complejo vitivinícola nacional, regional y local</i>	<i>Total de VC que inciden por ODS</i>	<i>Incidencia de VC en los ODS a 2030</i>
ODS 1: meta 1.4	DNAa; DNAd; DNAe; DARyLa; DARyLh; FRyLd; FRyLe; DF2030a	8	2
ODS 2: metas 2.3; 2.4; 2.5 y 2.a	DF2030a; FRyLa; DARyLd; DARyLh; DNAg	5	1
ODS 4: metas 4.3 y 4.4	DNAe; DARyLa; FRyLa; DF2030b; DF2030h	5	1
ODS 5: meta 5.5	DNAa; DNAe; DARyLa; DARyLd	4	1
ODS 6: meta 6.3; 6.5	DARyLd; FRyLd; FRyLe; DF2030h	4	1
ODS 7: meta 7.2; 7.3	DF2030a; DARyLd; DNAc	3	1
ODS 8: meta 8.2; 8.3; 8.4; 8.5 y 8.9	Todas	16	3
ODS 9: meta 9.1; 9.2; 9.3; 9.5	DNAa; DNAh; DARyLa; DARyLd; DARyLh; FRyLa; FRyLd; FRyLe; DF2030a; DF2030h	10	2
ODS 11: meta 11.1	DARyLd; DARyLa; DNAe; DNAa	4	1
ODS 12: meta 12.5	DNAa	1	1
ODS 13: meta 13.1	DNAa; DNAg	2	1
ODS 15: meta 15.1; 15.3	DNAd; DNAg; FRyLe	3	1
ODS 16: meta 16.6	FRyLa; DF2030a;	2	1
ODS 17: meta 17.5; 17.7	DNAa; DNAh; DARyLa; DARyLd; FRyLa; FRyLd; DF2030a; DF2030h	8	2

Fuente: Elaboración propia.

te, dependerá de diversos factores (FAO, 2018a). Se plantea delimitar los ODS y sus respectivas metas a aquellos que estén relacionados con el complejo vitivinícola de La Pampa; así, con base en los objetivos y las metas que conforman cada uno de los ODS, el complejo incide en 14 de los 17 ODS.

La tabla 11.2 resume las variables clave (vc) del complejo vitivinícola de La Pampa que se relacionan con cada uno de los ODS seleccionados, indicando el total de variables y la incidencia hacia los ODS. El ODS 8 es el objetivo en el que mayor incidencia presentan las variables clave de futuro.

En la siguiente tabla se realiza un análisis de incidencia considerando la cantidad de ODS que tienen relación con las variables (tabla 11.3). Se marcan aquellas variables clave de futuro que se considerarán más incidentales y, por lo tanto, claves a la hora de plantear los escenarios futuros a 2030 para el complejo vitivinícola.

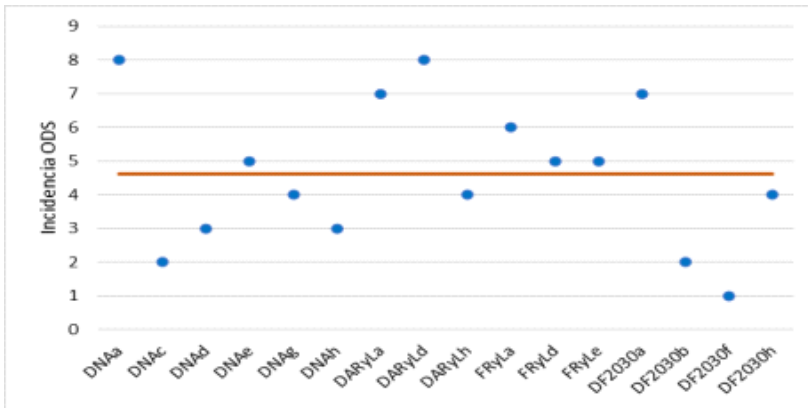
Tabla 11.3. *Variable clave e incidencia en los ODS*

<i>Variables (abreviadas)</i>	<i>Incidencia en los ODS</i>
DNAa	8
DNAc	2
DNAd	3
DNAe	5
DNAg	4
DNAh	3
DARyLa	7
DARyLd	8
DARyLh	4
FRyLa	6
FRyLd	5
FRyLe	5
DF2030a	7
DF2030b	2
DF2030f	1
DF2030h	4

Fuente: Elaboración propia.

Para la selección de estas variables se tomó el promedio de participación en los ODS, aquellas que quedaron por encima de este promedio fueron las elegidas (gráfica 11.5). Del total de variables clave se seleccionaron ocho.

Gráfica 11.5. Matriz de selección de variables



Fuente: Elaboración propia.

Escenarios del complejo vitivinícola provincial orientados hacia la incidencia de las variables claves en los ODS 2030

De acuerdo con la incidencia de las variables clave en los 14 ODS seleccionados, se procedió a analizar, en el terreno de lo posible, los comportamientos optimistas, tendenciales y pesimistas de las ocho variables clave para el 2030. Además, se puso en valor la participación de los actores relacionados con cada una de las variables. A partir de las interrelaciones entre las variables clave de futuro planteadas se desarrollan tres escenarios.

Escenario 1: Optimista. “Un día sin vino es un día sin sol; la verdad está en el vino”.

Los accesos viales de las zonas productoras vitivinícolas fueron modernizados por completo. El tramo de 25 de Mayo a Casa de Piedra, el tramo de la ruta nacional 152 y el de la ruta 20 “del desierto” se han renovado; además, han sido pavimentados 50 kilómetros de la ruta provincial 34. Por su parte, el acceso a internet, en toda la microrregión 10, ha representado una apuesta de la Cooperativa regional de servicios públicos y sociales del oeste pampeano de 25 de Mayo (Coospu), que, en unión con la Cooperativa de La Adela, brindan el servicio regular a todo el territorio. El Banco de La Pampa ha incorporado una línea de financiamiento específica, con muy

buena aceptación, a tasas subsidiadas para tecnología de adaptación al cambio climático, para los productores vitivinícolas.

Las producciones pampeanas se encuentran con genética y variedades adecuadas al mercado, y con evaluaciones periódicas de procesos en torno al cumplimiento de normas reguladas internacionalmente para la exportación de vino. La biodiversidad en los viñedos, articulada con la producción de animales menores, es una tendencia entre los productores de la región. Existe un clúster vitivinícola en la microrregión 10 de La Pampa que involucra la coordinación y articulación de productores, agroindustriales y distribuidores del complejo vitivinícola provincial. La mano de obra especializada vitícola se encuentra generalmente en la microrregión 10 provincial y se desplaza según requerimientos puntuales.

Así es como la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), en convenio con la Universidad Nacional del Comahue y la Universidad Nacional de Cuyo, han desarrollado dos ofertas académicas de grado y pregrado orientadas a la enología y a tecnicaturas industriales. También se encuentran disponibles trayectos formativos de capacitaciones continuas en la localidad de Casa de Piedra; las temáticas giran en torno a las buenas prácticas agrícolas y de manufactura y comercialización de los productos vitivinícolas.

Cabe señalar que la inversión en infraestructura agroindustrial pública y privada ha aumentado exponencialmente, lo cual ha repercutido en la generación de nuevos puestos de trabajo directos e indirectos, agregando valor a la uva obtenida. La sinergia público-privada entre los actores en el complejo reduce de forma significativa las discrepancias y diferencias en cuanto a los objetivos mancomunados.

El Plan Estratégico Vitivinícola de La Pampa, coordinado por la Cámara Vitivinícola de La Pampa y la UNLPam, ha hecho énfasis en indicadores concretos para llegar a 2030 apoyando la competitividad sistémica y el desarrollo sostenible de proyectos conjuntos que prevalezcan con mejoras en el consumo provincial de productos locales. Las características edáficas de La Pampa, en consonancia con el clima particular de las regiones del sur, han dado lugar a nuevas plantaciones de viñedos con características únicas en Latinoamérica. Ya se han desarrollado reuniones para anexar la marca patagónica del vino, una indicación geográfica especial para las plantaciones pampeanas de la vera del Río Colorado con destino exportable. El aumento

de hectáreas a 600, con producciones de vid, y el procesamiento realizado en la Provincia, han suscitado una dinámica distintiva del complejo.

El Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (Coirco) y la Comisión Argentina de Inocuidad Alimentaria (CAIA) han avanzado en una gestión integrada y compartida de los recursos hídricos disponibles en las provincias que los integran. Se acuerdan y discuten cupos mínimos integrados a la gestión hídrica y formas de riego, lo que favorece la restitución del caudal ecológico del río Salado-Chadileuvú-Curacó, propiciando nuevos aportes hídricos a zonas áridas.

Se incrementaron fuertemente las inversiones en infraestructura edilicia, haciendo énfasis en la investigación y el desarrollo de la industrialización de la vid; proceso mancomunado con las sinergias y la cooperación pública-privada. Así mismo, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conitec), en un convenio con la UNLPAM, han avanzado en negociaciones para desarrollar, en concordancia con el Instituto Nacional de Vitivinicultura (2022), el primer Centro de Investigaciones Vitivinícolas de Argentina.

Los avances en bioeconomía circular propuestos por el Centro van impactando directa e indirectamente en la productividad, manteniendo los indicadores provinciales más altos del promedio nacional. Cerca de 80 % de los vinos pampeanos se exporta por la Zona Franca de General Pico, con 90 % de insumos reciclados o reutilizados. La ruta del vino en la provincia de La Pampa ha desarrollado la veta turística, generando servicios conexos de valor y relaciones ganar-ganar entre productores, bodegas, distribuidores y prestadores. La oferta de degustaciones, asociada con la ruta del asado de carne bovina pampeana, atrae a turistas internacionales de las más variadas procedencias.

Escenario 2: Tendencial. “De tal cepa... tal vino...”

Las renovaciones de los accesos viales a lo largo de toda la ruta del vino en La Pampa se han realizado de manera heterogénea, lo que ha provocado algunos conflictos entre los productores locales y los operadores de servicios turísticos. El sistema de internet y conectividad sigue siendo intermitente en todo el sureste pampeano, con algunas excepciones. Los productores vitivinícolas invierten en tecnología de producción de acuerdo con sus posibilidades; aunque el cambio climático continúa impactando, tanto en la

baja del caudal del Río Colorado, como en el aumento de temperaturas, con eventos climáticos imponderables y de lluvias torrenciales en el sur provincial; situación que ha contribuido a la aparición de plagas que atacan las producciones, por lo que algunos rendimientos de los viñedos han disminuido considerablemente. Distintas instituciones como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Universidad Nacional de La Pampa y la Cámara Vitivinícola de la Pampa contribuyen con nuevos aportes de investigación y desarrollo en el complejo.

Se sigue incentivando, desde el Estado provincial, la actividad vitivinícola a partir de financiamientos y programas turísticos con el objetivo de motorizar la producción e industrialización. El negocio vitivinícola provincial se encuentra concentrado en ocho bodegas integradas horizontalmente por propiedad hacia la producción. La infraestructura agroindustrial aumentó en los últimos años, intensificando la búsqueda de capacidad especializada en procesamiento; en consecuencia, las oportunidades de empleo especializado son cada vez más recurrentes. Perfiles como ingenieros en mecatrónica, sistemas de datos, gestión y control de robots con inteligencia artificial son los más requeridos por las bodegas especializadas.

En cuanto a la oferta de servicios que se requieren para la actividad, siguen siendo escasos en el territorio y se depende de insumos internacionales, costosos por el tipo de cambio, que representan problemas logísticos; por este motivo, las bodegas se incluyen dentro de los servicios necesarios, fomentando la concentración del sector; de modo que las barreras de entrada al negocio son cada vez más elevadas con una demanda per cápita que sigue una tendencia negativa.

Los proyectos individuales de integración prevalecen por sobre los proyectos colectivos; igualmente, existe diálogo, cooperación, articulación y acuerdos entre los actores, especialmente en el sector privado. La Cámara Vitivinícola de La Pampa ha tomado relevancia nacional, impulsada por grandes bodegas. La productividad de las tierras pampeanas, por sus características particulares y la disponibilidad de agua para riego, sigue en ascenso, generando una ventaja comparativa para las bodegas.

Se encuentran 400 hectáreas de producción provincial de vid; no obstante, a nivel territorial, el desarrollo es aún una utopía. La cantidad y calidad de agua disponible va en continua disminución en el territorio, pero la

eficiencia en los sistemas de riego y obra de la represa Casa de Piedra permiten que la oferta sea todavía mayor a la demanda.

Se incentivan políticas de financiamiento e inversión del sector privado a partir de la articulación de actores públicos y privados para pymes vitivinícolas en todo el complejo haciendo foco en la producción primaria; sin embargo, se ha tenido poco éxito debido a la coordinación de precios en torno a las agroindustrias. En este punto, la bodega de fondos públicos provinciales de Casa de Piedra ha mantenido constante la producción, vinificación y comercialización de varios de los emprendedores provinciales.

El complejo vitivinícola provincial está territorialmente disperso y cuenta con muchas iniciativas individuales propiciadas desde diferentes localidades, con marcada distancia física entre sí, sin coordinación y sinergias positivas. La falta de economías de escala y esfuerzos individuales aislados han condicionado muchos esfuerzos estatales que desestabilizan el rumbo de los proyectos políticos provinciales. El sector privado concentrado ha visto en La Pampa un territorio próspero para nuevos viñedos y vinos acordes con las demandas del mercado internacional, por lo que la mayor parte de la uva de La Pampa se procesa en provincias vecinas, con escaso valor agregado y desarrollo territorial provincial.

Escenario 3: Pesimista. “Se picó el vino argentino y, por supuesto, el pampeano”.

El desgaste de los accesos viales sin renovación planificada y los nulos servicios de conectividad y acceso a internet de la microrregión 10 siguen acrecentando la brecha entre el suroeste y noreste de la provincia de La Pampa. En este contexto, el complejo vitivinícola provincial se ha visto partido y desmembrado, dando por tierra todos los esfuerzos de políticas públicas que se han desarrollado.

El tipo de cambio elevado y la exorbitante dependencia de importaciones en torno a los insumos externos condicionan la competitividad y ralentiza la adaptación al cambio climático de las producciones de vid. La aparición de nuevas enfermedades que atacan los cultivos, así como las deficiencias de nutrientes y agua se potencian con la falta de dispositivos claves para los sistemas de riego presurizados. La mano de obra especializada no existe en la zona, los jornaleros vienen de otras regiones del país a costos elevados y sin sentido de pertenencia. Los jóvenes de las localidades

cercanas ven al sector como un generador de puestos de trabajo de baja calidad y mal pagados. Los costos laborales se acrecientan en su búsqueda por atraer personas a la producción y a la agroindustria, sobre todo en las épocas de poda, cosecha e industrialización.

Los procesos tecnológicos se convierten en una barrera de entrada importante; muchas bodegas han cerrado sus puertas por la falta de insumos, materiales y repuestos estratégicos. La caída del precio de los mercados internacionales de vinos desplomó las inversiones en infraestructura agropecuaria y agroindustrial, además de que aumentó la caída del consumo per cápita del vino. También se produjo una migración de capitales, mano de obra y servicios conexos hacia otros negocios más atractivos. Es así como 60 % de los viñedos e infraestructura agroindustrial provincial se encuentra abandonada; sólo quedan en producción algunas hectáreas en Fincas del Duval y Casa de Piedra, que mantienen el nivel de actividad produciendo vinos en Duval para el mercado local, lo que también se encuentra en proceso de decrecimiento. En cuanto al incentivo hacia la actividad vitivinícola por parte de actores públicos, ha desaparecido, volcándose en actividades más redituables y multiplicadoras. A causa de esto, la ruta del vino quedó como un proyecto trunco que ha perdido conexión provincial con gran parte de producciones nacionales.

Las instalaciones de la bodega de Casa de Piedra se han transformado en una usina eléctrica de energía renovable (acopio de energía proveniente de paneles solares y eólica). Existe desarticulación entre los actores públicos y privados; la crisis del complejo ha generado fuertes cruces entre funcionarios públicos y el sector privado, que llevó a la ruptura del diálogo en el complejo. La Cámara Vitivinícola de La Pampa se ha disuelto, mientras se agudizan conflictos preexistentes con choques de intereses también entre los mismos actores privados.

Sumado a lo anterior, el potencial productivo de vid en La Pampa se ha visto afectado por la falta de disponibilidad de agua para riego en el Río Colorado, con cupos y horarios estrictos en el riego, y fuertes penalidades que son aplicadas de modo continuo por el EPRC, lo que afecta las propiedades edáficas de los suelos con cada vez mayor riesgo de contaminación. La discontinuidad de políticas públicas sobre el complejo vitivinícola ha generado que el EPRC haya reducido sus funciones a las de una autoridad

de aplicación de la normativa vigente. La falta de inversión por parte de empresas vitivinícolas nacionales en La Pampa ha aumentado, el complejo vitivinícola provincial está en una situación marginal y se ha convertido en un negocio de nicho.

Reflexiones finales

El presente capítulo pone en valor —bajo una mirada sistémica, prospectiva y competitiva— información primaria y secundaria sobre el pasado, presente y futuro del entramado vitivinícola de Argentina y de La Pampa. Los datos cuantitativos, sumados a las perspectivas interesadas de actores clave, permiten aportar nuevos conocimientos, construidos socialmente, sobre posibles dinámicas de futuro. El análisis de funciones y relaciones comerciales facilita la comprensión amplia y sistémica del negocio y su dinámica comercial. El mapeo de actores agrega cualificación al análisis y, en conjunto con su localización, lo sitúa desde una perspectiva más adaptada a las particularidades del complejo bajo estudio.

La identificación de variables clave para el desempeño del entramado —interpretadas, clasificadas y analizadas desde la óptica de los actores clave— aporta ideas claras sobre los aspectos que son estratégicos para el futuro del complejo. El análisis de las intensidades y relaciones con los ODS, así como las hipótesis de futuro, dan pie a la elaboración de tres escenarios posibles para el año 2030 como optimista, tendencial y pesimista.

La construcción de escenarios invita a reflexionar sobre el futuro del complejo vitivinícola en la provincia de La Pampa y la posibilidad de pensarlo de manera táctica y sostenible. Las redacciones, todas hipotéticas, abren un abanico de posibles acciones a llevar a cabo para la toma de decisiones públicas y privadas, y permiten construir, por medio de las interpretaciones de las relaciones y dinámicas territoriales situadas en el complejo vitivinícola, estrategias y políticas que potencien su desempeño y aporten a la concreción de los ODS. Las decisiones estructurales y coyunturales, públicas y privadas, deberían ir tras una sinergia compartida de mediano plazo; así, la construcción de una agenda que construya y anticipe el futuro es clave.

El desarrollo de imágenes de futuro permite construir miradas anticipatorias con variables propuestas y valoradas por los actores clave para construir, desde hoy, el futuro del complejo vitivinícola provincial. Desde posiciones situadas en intereses, recursos y capacidades, se deben plantear estrategias y políticas a futuro que permitan afrontar estos escenarios, considerando amenazas y oportunidades potenciales para el desarrollo del complejo vitivinícola provincial y la concreción de los ODS para el año 2030.

Referencias

- Aguilar, T., Papagno, S., Mariano, R., Vitale, J., y Aceituno, P. (2018). Hacia una prospectiva latinoamericana: Un abordaje desde lo agrícola y lo alimentario. *Revista de Estudios Políticos y Estratégicos*, 6(2), 188-196.
- Balestri, L. A., y Ferro Moreno, S. (2015). *Estrategia, política y complejidad*. EdUNLPam.
- Cabezón, S. (2019). Mercado vitivinícola en la Argentina contemporánea [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Económicas].
- Camarán, M. L., Barón, M. L., y Rueda, S. M. P. (2019). La responsabilidad empresarial y los objetivos del desarrollo sostenible (ODS). *Revista Científica Teorías, Enfoques y Aplicaciones en las Ciencias Sociales*, 11(24), 41-52.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Cepal.
- Conrado, S. (2020). Enoturismo en la Argentina: Propuesta de valor para el desarrollo del enoturismo sustentable en bodegas Etchart, Cafayate, Salta, Argentina [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Martín].
- Ericksen, P., Ingram, J., y Liverman, D. (2009). Food security and global environmental change: emerging challenges. *Environmental Science & Policy*, 12(4), 373-377.
- Federación de Cooperativas Vitivinícolas Argentinas (2019). *Informe de sustentabilidad 2019*. FECOVITA. https://www.fecovita.com/wp-content/uploads/2021/07/Informe_Sustentabilidad_2019.pdf
- Hernández, J. J. (2021). La promoción de la vitivinicultura argentina: seis décadas, una función, múltiples actores. *Mundo Agrario*, 22(50).
- Instituto Nacional de Vitivinicultura (2022). *Informe anual: Mercado interno de vinos*. INV.
- Intini, J., Jacq, E., y Torres, D. (2019). *Transformar los sistemas alimentarios para transformar los ODS*. FAO.
- Mariano, R. (2020). Modelización económica, hídrica y energética en producciones agrícolas bajo riego de la cuenca del río Colorado en La Pampa [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales].
- Mariano, R., y Ferro Moreno, S. (2020). Vigilancia e inteligencia prospectiva estratégica en tramas agroalimentarias de la provincia de La Pampa, Argentina. *Revista de Estudios Políticos y Estratégicos*, 8(2), 68-91.

- Mariano, R., Papagno, S., y Vitale, J. (2022). *Prospectiva en el sector agrícola y alimentario: Guía técnico-metodológica*. Editorial de la Universidad Nacional de La Pampa.
- Medina Vásquez, J., y Ortegón, E. (2006). *Manual de Prospectiva y Decisión Estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe*. ILPES / CEPAL.
- Medina Vásquez, J., Becerra, S., Y Castaño, P. (2014). *Prospectiva y política pública para el cambio estructural en América Latina y el Caribe*. ILPES / CEPAL / ONU.
- Montesinos, R. y Cerdeño, M. (2020). Economía circular y Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Distribución y Consumo*, 1, 70-75.
- Observatorio Vitivinícola Argentino (2022). *Estadísticas: Evolución del consumo per cápita en Argentina*. OVA.
- Organización de las Naciones Unidas (2015). *Agenda para el Desarrollo 2015-2030*. ONU.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018a). *El futuro de la alimentación y la agricultura: Vías alternativas hacia el 2050*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e2afea45-10be-4cab-a7e2-36508e77461b/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018b). *Transformar la alimentación y la agricultura para alcanzar los ODS*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/65e7524f-9f38-4e3c-b98c-e25a45737800/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2021). *Guidance on core indicators for agrifood systems – Measuring the private sector's contribution to the Sustainable Development Goals*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb6526en>
- Organización Internacional de la Vid y el Vino (2022). *Base de datos y estadísticas*. IOVW. <https://www.oiv.int/es/what-we-do/country-report?oiv>
- Organización Internacional de la Viña y el Vino (2022). *Estadísticas mundiales*. IOVW. <https://www.oiv.int/es/what-we-do/global-report?oiv>
- Papagno, S., Vitale, J., y Barrientos, M. J. (2021). *La prospectiva como construcción social de futuros en los procesos de ordenamiento territorial*. Universidad Nacional de Cuyo. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/9087/INTA_CICPES_Instituto%20de%20Investigaci%C3%B3n%20en%20Prospectiva%20y%20Pol%C3%ADticas%20P%C3%ABlicas_Papagno_S_prospectiva_construccion_social_futuros_procesos_ordenamiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Salas Zorrilla, J., y Farreras, V. (2021). ¿Avanzamos hacia una vitivinicultura sostenible? Un estudio exploratorio de la industria del vino de Argentina. *Estudios económicos*, 39(79), 127-167.
- Sánchez, E. (2020). *Programa Nacional Frutales. Superficie ocupada por plantaciones frutales en el país y cambios en su estructura productiva*. Ediciones INTA.
- Subsecretaría de Estadísticas y Censos de La Pampa (2021). *Anuario estadístico 2021*. SEyC.
- Toro, P., García, A., Gómez-Castro, A., Perea, J., y Acero, R. (2010). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas. Revisión bibliográfica. *Archivos de Zootecnia*, 59, 71-94.
- Vieira, M., Ojer, M., Vitale, J., Ramet, E., Pescarmona, B., y Viard, J. (2022). Escenarios de

la cadena del durazno para industria al año 2030. En M. Vieira, M. Ojer y J. Vitale, *Duraznos para industria en Argentina: Prospectiva al 2030* (pp. 139-149). Centro de Ediciones Facultad de Ciencias Agrarias. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitaes/18263/viera-ojeryvitale-duraznosparainsdustriaenargentina.pdf

12. Un futuro socioecológico para el aguacate mexicano



GISELA VALDÉS PADILLA*
MAYRA KARINA SOLÍS LÓPEZ**
MARÍA DE LOURDES FLORES LÓPEZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.12>

Resumen

Este capítulo tiene como objetivo discutir la importancia económica, social y ecológica de la producción de aguacate, y plantear una propuesta a partir de la prospectiva y la generación de escenarios futuros deseados de la producción ecológica y socialmente responsable de la producción de aguacate mexicano. Se presenta un panorama de producción del aguacate a nivel iberoamericano para centrarnos en describir el sistema de producción en México, con sus implicaciones económicas, sociales y ecológicas. Se finaliza con una propuesta prospectiva a partir de la generación de escenarios deseados que involucren la atención de política pública para la transformación desde los movimientos de la soberanía y autonomía alimentaria, donde las huertas aguacateras sean espacios agroecológicos que generen empleo digno sin riesgos para la salud humana y se preserve la agricultura regenerativa; esto es, un balance con el mercado mundial y de exportación que favorece la salud planetaria basado en un rediseño de producción, distribución, y de transformación del consumo responsable y solidario.

Palabras clave: *producción de aguacate, prospectiva, México.*

* Doctora en Ciencias Sociales. Investigadora Independiente. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7567-9463>

** Doctora en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Profesora, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco-Secihti. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4152-7859>

*** Doctora en Antropología. Profesora, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco-Secihti. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2997-2001>

Introducción

El aguacate o palta es un fruto verdoso de piel fina o gruesa, rico en proteínas y grasas, que se cultiva en las regiones de clima templado subhúmedo y semicálido subhúmedo, con un rango óptimo de temperatura de 10 a 35°C. Su cultivo puede establecerse en temporal o riego, en altitudes que van de los 800 a los 2 500 msnm y en una gran diversidad de suelos con buen drenaje (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México [Sagarpa], 2017). La diversidad genética del aguacate ha sido agrupada en las razas Mexicana, Guatemalteca y Antillana o de las tierras bajas; de éstas se derivan más de 19 variedades distintas; además, la alta polinización cruzada de la planta facilita la obtención de híbridos entre razas, lo que ha permitido la generación de las variedades Booth 8, Choquette y Collinson, entre otras (Bernal y Díaz, 2005).

Se trata de un excelente alimento rico en nutrientes, antioxidantes y ácidos grasos monoinsaturados, cuyo consumo está asociado a la disminución de factores de riesgo cardiovascular (Vivero et al., 2019); además, el aceite de aguacate es utilizado ampliamente en la industria farmacéutica y cosmética (Pérez et al., 2005). En el mercado internacional la oferta de aguacate se ha ido incrementado en los últimos cuarenta años. En Iberoamérica, 18 países producen el fruto, encabezados por México, que es el principal productor no sólo en esta región, sino también a nivel mundial.

Gran parte de la producción de aguacate proviene de pequeños productores, quienes lo cultivan en 27 712 huertos menores a 10 hectáreas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [Sader], 2020). La comercialización del producto está orientada a mercados nacionales e internacionales, donde las empresas agroexportadoras cumplen el papel de mediadoras en la cadena productiva, obteniendo la mayor parte de la ganancia, sin considerar cumplir con las cuotas establecidas en la agricultura; por otro lado, muchas veces el proceso involucra injusticias sociales como el trabajo infantil. El impacto de esta actividad también ha sido aprovechado por los grupos criminales de la zona a través del control de la comercialización de cultivos mediante el cobro de renta; situación que afecta directamente a los productores (Fuentes, 2015).

La demanda y producción generalizada de esta fruta ha ocasionado la destrucción de los ecosistemas forestales y un efecto sobre el calentamiento global. En el medio ambiente, esas alteraciones se han reflejado en la pérdida de bosques por deforestación debido al cambio de uso de suelo y al cultivo de aguacate clandestino, lo que afecta el hábitat de cientos de especies biológicas, entre las que destaca la mariposa monarca (*Danaus plexippus*), emblemática de México (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2019).

Otros de los efectos causados la producción generalizada de aguacate son la baja calidad de suelos por exceso de fertilización y la contaminación del agua por el uso indiscriminado de plaguicidas (García, 2020). Lo anterior evidencia la necesidad de una normativa y un control a escala nacional e internacional en la cadena de producción del aguacate; es decir, se debe pensar y rediseñar otro futuro para este cultivo y los múltiples aspectos sociales, ambientales y culturales que, además de los económicos, involucraría el manejo responsable de su sistema productivo.

Producción del aguacate en Iberoamérica

En Iberoamérica, la superficie sembrada de aguacate en 2020 alcanzó las 500 805 hectáreas, con una producción de 5 522 942 toneladas. México encabezó la lista en ambos casos con 224 422 ha y 2 393 849 t, respectivamente (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés], 2020). La tabla 12.1 muestra los cinco países iberoamericanos más importantes en estos rubros por debajo de México; entre los cuales destacan: Colombia, con 78 578 ha; Perú, con 50 605 ha; República Dominicana, con 43 129 ha, y Chile, con 30 143 ha; con una superficie menor, se encuentran países como Brasil, España, Guatemala, Venezuela, Ecuador, entre otros.

En términos de productividad, México produjo casi la mitad del total de aguacate en esta región, seguido por Colombia, con 876 754 t; República Dominicana, 676 373 t; Perú, 660 003 t, y Brasil, 266 784 t (FAO, 2020). En la mayoría de estos países la variedad que más se produce es la Hass, debido

a su gran tolerancia ante los cambios climáticos, la calidad de su fruto y su resistencia al manejo postcosecha (Gallo y Suarez, 2020; CEDRSSA, 2017).

Tabla 12.1. Países de Iberoamérica productores de aguacate

	Colombia	Perú	República Dominicana	Chile	Brasil
Producción (t)	876 754	660 003	676 373	160 535	266 784
Superficie (ha)	78 578	50 605	43 129	30 143	16 211
Variedades	Hass, principalmente, raza Antillana (ecotipos cebo, leche y manteco) y aguacate papelillo, mezcla entre ambas variedades: la Lorena, Trinidad, Booth-8, Fuerte, Trapo, Santana, Colinred y Ettinger.	Fuerte, Hass, Zutano, Ettinger, Nabal y Criolla.	Variedad cáscara verde Semil-34. De junio hasta agosto-septiembre: variedad criolla, Simmonds y Boot en zonas menores a 400 msnm. De septiembre-octubre a febrero-marzo: variedad Hass en zonas mayores a los 400 msnm.	Hass, Fuerte, Negra de la Cruz, Bacon, Edranol, Raza mexicana, Esther.	Breda, Fortuna, Quintal, Margarida, Hass, Geada, Fucks, Ouro.
Regiones	Antioquia, Tolima, Caldas, Risaralda, Quindío, Cauca, Valle del Cauca, Santander y Nariño, Sucre, Bolívar, César y Huila.	La libertad, Lima, Ica, Junin, Ancash y Moquegua, Arequipa, Tacna, Apurimac y Huánuco.	Padre Las Casas, Guayabal, Las Lagunas, La Siembra, Moca, Provincia Espaillat, Cambita y Provincia San Cristóbal.	Regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitan, O'Higgins (comunidades de Peumo, Las Cabras, San Vicente de Tagua Tagua y Pichidegua.	Sao Paulo, Minas Gerais, Paraíba, Campinas, Ribeirão Preto y Bauru

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (2020); Bedoya y Julca (2020); Cuevas (2007); Gómez (2010); Beya et al., (2021); Guevara et al., (2021); Lemus et al., (2010); CEAGESP (2015); CeIRD (s/f); Alves (2015); Fresh Plaza (2018).

Manejo técnico del aguacate en los principales países productores de Iberoamérica

En Colombia, en los departamentos de Sucre y Bolívar, el aguacate se produce de manera espontánea, sin técnicas apropiadas de siembra y poda, así como mínima o nula fertilización; no obstante, en el departamento de Huila existen alrededor de 365 predios certificados en buenas prácticas agrícolas; es decir, emplean métodos que permiten a los agricultores desarrollar cri-

terios de calidad e inocuidad para proteger su salud y la del consumidor (González et al., 2018; Instituto Colombiano Agropecuario, 2021).

Por su parte, en Perú se destaca el departamento de Moquegua, ya que un pequeño porcentaje de la producción (15 %) es de tipo orgánica (Bedoya y Julca, 2020). En República Dominicana destaca la siembra de aguacate organizada, donde los cultivos mixtos y los cultivares criollos sirven como sombra en los cafetales, en la mayoría de los casos (Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal [Cedaf], 2000). Existe una asociación de cultivos (frutales, cultivos y forestales) donde los agricultores llevan a cabo prácticas de conservación de suelo mediante el uso de barreras vivas y muertas, así como zanjas de contorno de desperdicios (Cuevas, 2007). En Brasil, el método de propagación más usado es el injerto por enchape o hendidura (Freire et al., 2018).

Estas son sólo algunas de las prácticas culturales del aguacate llevadas a cabo en los países con mayor producción en la región; sin embargo, el ritmo acelerado con el que se ha ido incrementando este cultivo pone de manifiesto la necesidad de generar mayor conocimiento no sólo en el aspecto técnico, para mejorar la producción, sino también en las dimensiones sociales, ambientales, políticas y económicas.

Sistemas de producción de aguacate mexicano

En el campo mexicano se producen principalmente las variedades Hass, Criollo y Fuerte. El principal productor de aguacate es el estado de Michoacán, ubicado en la región centro-occidente, que aporta 75.2 % de la producción total; seguido por los estados de Jalisco y Estado de México, con 10.2 % y 4.9 %, respectivamente (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2021a). Las entidades de Nayarit, Morelos, Guerrero, Puebla, Chiapas, Oaxaca y Yucatán también contribuyen en un porcentaje menor a la producción nacional de aguacate. La tabla 12.2 muestra algunos de los municipios productores de aguacate por estado.

En relación con este cultivo, cabe señalar que 88.3 % de la superficie se encuentra mecanizada, 82.34 % cuenta con tecnología aplicada a la sanidad

vegetal; 76.65 % de la superficie sembrada contó con asistencia técnica, y 45.98 % de la producción es de modalidad de riego (Sagarpa, 2017).

Tabla 12.2. *Principales municipios mexicanos productores de aguacate*

<i>Estado</i>	<i>Municipio</i>
Michoacán	Tancítaro, Ario, Salvador Escalante, Uruapan, Tacámbaro, Peribán, Nuevo Parangaricutiro, Los Reyes, Turicato y Tingüindín
Jalisco	Zapotlán el Grande, San Gabriel, Tuxpan, Tonila, Sayula, Zapotiltic, Quitupan, Jilotitlán de los Dolores
Estado de México	Coatepec Harinas, Donato Guerra, Temascaltepec, Tenancingo, Valle de Bravo, Villa de Allende
Puebla	Quimixtlán, Tochimilco, Chichiquila, Atlixco, Tepexí de Rodríguez
Chiapas	Trinitaria, Zinacantán, Teopisca Aldama, Amatenango del Valle, San Juan Chamula, Chenalhó, Huixtán, Larráinzar, Oxchuc, Pantelhó, San Cristóbal de las Casas, San Juan Cancuc, Santiago El Pinar, Tenejapa, Teopisca y Zinacantán Motozintla, Bella Vista, Bejucal de Ocampo, Amatenango de la Frontera, La Grandeza, Mazapa de Madero y Siltepec

Fuente: Elaboración propia con base en Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG, 2020); SIAP (2021b); Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica, 2021); Sader (2016 y 2019).

En México existen diversos tipos de productores de aguacate que se diferencian según los canales de comercialización que utilizan, el tipo y tamaño de la explotación, el tipo de propiedad, las características sociodemográficas, las prácticas culturales, el impacto ecológico que producen, entre otros.

En Michoacán, el estado más importante en producción a nivel nacional, Burgos et al. (2012) realizaron un estudio que consistió en desarrollar una tipología de productores basada en el impacto ecológico potencial de sus modos de manejo de huerto. En los municipios de la llamada “franja aguacatera” se identificó la prevalencia de productores de tipo III y IV. Los primeros (de tipo III) se caracterizan, principalmente, por un nivel que va de moderado a alto en cuanto al impacto ecológico generado en la biodiversidad y su grado de contaminación; pueden ser o no exportadores, orgánicos o convencionales, pero utilizan pesticidas y fertilizantes sintéticos, y no llevan a cabo prácticas de conservación de diversidad arbórea.

El tipo IV, además de las características mencionadas en el tipo III, presentan deficiencias en los sistemas de conducción y aplicación de agua, lo que genera un consumo excesivo del recurso hídrico; además de que las

características físicas de los huertos, como la alta inclinación de la pendiente, origina problemas de erosión, que no son mitigados en forma. Cabe destacar que en esta región participan, aproximadamente, 40 mil productores, que generan alrededor de 100 000 empleos a nivel de huertas, entre las que se destaca la producción primaria, llevada a cabo por pequeños productores que poseen menos de 5 ha de tierra (Sánchez y Sánchez, 2021).

En el Estado de México se destaca la presencia de dos tipos de productores de aguacate, aquellos que lo venden a las centrales de abasto y los que lo comercializan a la orilla de la carretera. Se distinguen productores grandes, medianos y pequeños, de acuerdo con el tamaño de las explotaciones, que va de 1 hasta 85 ha (Sangerman et al., 2014).

En la mayoría de los casos se ha identificado que los productores poseen un bajo nivel de tecnificación y que requieren de programas de transferencia de tecnología y capacitación continua para mejorar la producción y minimizar los riesgos del sistema-producto, así como el potencial de contaminación. En cuanto a este último punto, la entrega de la guía de corte para la obtención de la Constancia de Origen de Productos Regulados Fitosanitariamente es un requisito indispensable para los productores exportadores, pues garantiza el uso regulado de agroquímicos; la generalización de esta medida entre productores no exportadores podría reducir el potencial de contaminación en las regiones productoras (Sangerman et al., 2014; Nataren et al., 2020; Rojas-Pérez et al., 2022).

En la misma línea, otra de las alternativas que va tomando fuerza, aunque a un ritmo más lento, es la agricultura orgánica, definida como el sistema agrícola que conlleva la producción ecológica de alimentos y fibras, con un énfasis en la fertilidad del suelo, respetando los ciclos biológicos naturales y evitando los agrotóxicos. En este sentido, a nivel nacional, Michoacán es el estado con mayor número de municipios con superficie orgánica destinada al cultivo de aguacate y el tercero, por superficie orgánica sembrada, ocupando 12 % del total de hectáreas certificadas bajo la Ley de Productos Orgánicos (Delfín et al., 2018).

Entre los desafíos y las limitaciones que encara este tipo de producción, están las de tipo económico, ya que la falta de recursos y de financiamiento es un factor determinante para que los productores se incorporen y su producción sea certificada como orgánica. La falta de asistencia técnica y

capacitación es otro de los obstáculos que enfrentan y que les impide hacer la reconversión de sus sistemas productivos (Schwentesi et al., 2014).

En las plantaciones de aguacate, las prácticas agroecológicas suceden también como una opción capaz de incrementar los beneficios económicos y reducir los riesgos ambientales y económicos que se presentan en la agricultura convencional, conservando el equilibrio ecológico de los sistemas productivos (Montiel et al., 2008). A diferencia de la agricultura orgánica, la agroecología cuestiona todas las bases del sistema agroalimentario convencional y estudia de forma holística los agroecosistemas, incluyendo las interacciones con el ambiente y el ser humano; bajo este enfoque, los ecosistemas agrícolas, los ciclos minerales, el flujo de energía, los procesos biológicos y la dimensión socioeconómica son considerados como un todo (Altieri, 2009; Le Coq et al., 2018).

La prospectiva y la generación de escenarios

Existe una tendencia social y cultural que está cuestionando el sistema capitalista y agroindustrial de producción de alimentos, y es desde esta oportunidad que se replantean prácticas y concepciones en torno a la tierra, al alimento y a la vida misma en su conjunto. La prospectiva crítica latinoamericana apuesta a la recuperación y regeneración de los territorios bioculturales, persigue las autonomías alimentarias de organización y gobernanza, y procura diseñar otros futuros alternativos al modelo capitalista y patriarcal. La metodología y el campo de conocimiento de la prospectiva permiten anticiparnos con el fin de repensar las acciones y redirigirlas. La prospectiva sería entonces una práctica de intervención social que busca planear los futuros que deseamos tener.

Con el propósito de razonar y pensar sobre posibles futuros es necesario plantear caminos epistemológicos y metodológicos basados en casos concretos. La prospectiva que elaboramos desde este fundamento epistémico busca hacerle frente al negocio y a la mercantilización de los alimentos. La metodología prospectivista nos permite plantear y generar escenarios posibles para el rediseño del sistema de la producción y el consumo del aguacate. La base que sustenta dichas perspectivas está fundamentada en

planteamientos anticapitalistas y antipatriarcales a favor de la vida y del tejido biosocial para el futuro de la especie humana.

El futuro, como estado del porvenir, se construye; así, como prospectivistas, nos enfocamos en explorar, imaginar y diseñar la futuridad impulsando acciones metodológicamente para producir las posibilidades imaginadas y deseadas. En este caso, nos centramos en las realidades emergentes de las granjas y huertos, impulsores del cambio, en la manera de producir el aguacate, cuidar los recursos y regenerar los ecosistemas.

El área de la producción de alimentos atraviesa todas las esferas de la vida, que van desde el conocimiento de la bioquímica del suelo, hasta el entendimiento de las economías locales y los mercados internacionales; desde el conocimiento ancestral del uso de las semillas, hasta el manejo de la pluralidad tecnológica para aprovechar los recursos, etc. Por esto, el hacer prospectivo en esta área exige un pensamiento transdisciplinario que inspire pensamientos multicausales y visiones alternativas para proyectar futuros que contemplen la complejidad de las problemáticas, pero sobre todo, las soluciones y respuestas ante las necesidades de cambio y mejoramiento de la salud humana y planetaria.

Para nuestro estudio prospectivo sobre la producción de aguacate en México planteamos un escenario ideal alternativo basado e inspirado en prácticas que se llevan a cabo, en nuestro caso, en una huerta aguacatera en Jalisco, así como de otros casos mexicanos e iberoamericanos que resisten, luchan y crean otros modelos ante el agro hegemónico que ha fracasado en proveer de alimentos sanos a la población y que ha provocado la crisis ambiental, climática, de salud y de nutrición, así como de injusticia y hambre.

El análisis prospectivo apela a la inteligencia colectiva para diseñar y edificar el futuro, se trata de un proceso de construcción de conocimiento contextualizado que incluye a la sociedad civil organizada, a los expertos, los saberes locales. La segunda etapa de análisis prospectivo son las articulaciones y sinergias entre actores, instituciones e instancias para el diseño de oportunidades e innovaciones; todas aquellas colaboraciones que se necesitan fomentar con la finalidad de llevar a cabo las transformaciones.

Por último, la tercera etapa del proceso metodológico es el diseño de estrategias para lograr el futuro deseable.

Se busca imaginar el mejor futuro ambiental y social para la producción y consumo del aguacate mexicano. En este trabajo iniciaremos con la narrativa en presente del escenario ideal, lo cual permite también deconstruir los futuros naturalizados y abrir espacio al diálogo y a la acción en la construcción de otros imaginarios y en la generación de nuevos horizontes; esto es, en la prospectiva, para la descripción de escenarios y la planificación, partimos de la experiencia de vida, la tendencia a lo largo de los años, y los avances en materia legislativa y marcos normativos en nuestro país, tales como acuerdos y compromisos firmados por el gobierno con organizaciones internacionales que mantienen una perspectiva de derechos humanos con el fin de mejorar la producción, distribución, acceso, comercialización, consumo de alimentos saludables y sostenibles, así como la reducción de su pérdida y desperdicio. De la misma manera, el compromiso del Estado es proteger los recursos naturales para evitar su acaparamiento y contaminación, dirigir las acciones a favorecer el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, y apoyar a la agricultura familiar o de pequeña y mediana escala en la producción agroecológica.

A continuación, se explicarán, en modo narrativo, las proyecciones de otro escenario futuro para el aguacate mexicano; no obstante, habremos de puntualizar que para los análisis prospectivos es preciso situarse en los propios territorios, con sus problemáticas y luchas específicas por un mejor futuro.

Escenario ideal del aguacate mexicano. Narrativa futura contada en presente

De acuerdo con la complejidad del tema sobre la producción agroalimentaria, presentamos una narración de lo que sería el escenario ideal, basado en el constructo colectivo y las tendencias que hemos registrado y sistematizado en la investigación titulada: *Prospección sobre la reconfiguración de los sistemas alimentarios a partir de soberanía, derecho humano y justicia alimentaria fortalecida por una política alimentaria fundamentada en justicia social*, proyecto financiado por el Consejo Nacional de

Ciencia y Tecnología (Conacyt), en donde se ha pensado colectivamente en el futuro alimentario de nuestro país).

Es el año de 2033 y, en México, las huertas de aguacate dejaron de ser un monocultivo y un conflicto social y ambiental tras revalorar la importancia de transformar la manera de producir estepreciado fruto que deja importantes ganancias a nivel nacional. Como parte del programa impulsado por productores responsables y organizados, se exigió al gobierno cambiar las políticas e incentivar la conversión de huertas de aguacates en comunidades de aprendizaje y trabajo donde se regenera el suelo, se comparten conocimientos, se hace comunidad y se genera empleo digno y sin riesgos a la salud humana. Gracias a la planificación territorial y al reparto de las tierras, muchas familias rurales, población neorrural, mujeres y jóvenes, pudieron acceder a un territorio con el fin de hacer crecer el patrimonio agroecológico mexicano.

Gracias a la política de seguridad y soberanía alimentaria que prioriza los derechos constitucionales a un medio ambiente sano, a la salud, la alimentación y al territorio, las huertas de aguacates se convirtieron en espacios en donde podemos ver a las familias viviendo en comunidad digna y autosustentable, ya que el comercio aguacatero es sumamente generoso, además del valor añadido de que los consumidores lo reconocen gracias a la trazabilidad de responsabilidad social y ambiental en la producción del fruto.

Las huertas aguacateras en México se han convertido en granjas agroecológicas y de agricultura regenerativa. Se trata de un sistema integral para aprovechar el poder de la biología del suelo y de la diversificación de los cultivos, de manera que sera posible reconstruir la materia orgánica del suelo, mejorar la retención del agua y la generación y absorción de nutrientes; un sistema que cuidan la materia orgánica y la biodiversidad del suelo con el propósito de revertir los efectos generados por el calentamiento global. Los agroquímicos han sido sustituidos, dando paso a productos elaborados por la red de productores conocedores de los suelos locales y de las necesidades nutricionales de las huertas. Así mismo, el conocimiento agroecológico incentiva a convertir las huertas en un paraíso para los polinizadores; de manera que la variedad de cultivos que equilibra y regenera el ecosistema, además de aportar variedad de alimentos sanos y nutritivos para

las familias que intercambian sus productos de manera local y posicionan los excedentes en el mercado nacional.

La epistemología que sustenta el conocimiento por el cuidado del suelo tiene que ver con las concepciones originarias de que la tierra es sagrada y que es preciso cuidarla y regresar algo de lo mucho que nos da. La práctica del cuidado y regeneración de los suelos en las huertas se trabaja con la cubierta permanente, con composta y mantillo. Esta técnica mantiene el suelo vivo y húmedo; además de la gran importancia que representa el uso racional del agua. Así mismo, el manejo de plagas se da por los conocimientos del control biológico, colocando estratégicamente hileras de flores para atraer depredadores útiles, o liberando a depredadores cuando hay infestaciones. Por lo general, las enfermedades y los hongos dañinos de los árboles de las huertas aguacateras se están tratando con homeopatía, teniendo éxito en su erradicación. De esta manera, los saberes originarios en torno al riego y la poda siguen los ciclos lunares y son puestos a prueba con éxito en las huertas.

En cuanto a las tecnologías agroecológicas, el manejo del hábitat y el uso de policultivos, la elaboración de composta, la incorporación de residuos de animales y cosechas, la selección y conservación de semillas de las huertas, son económicamente más viables, ya que se sustentan de los recursos locales. La agroecología ha cambiado la relación campo-ciudad en nuestro país, pues ahora se busca la producción de alimentos más sanos y se reconoce la participación de los consumidores en esta labor; por lo tanto, su intervención es entusiasta y activa; además, las granjas tienen programas de trabajo voluntario en donde asisten para aprender y vivir la experiencia formativa y de comunidad que se ofrece en ellas. Las mujeres, las infancias, los jóvenes, la diversidad sexo-genérica, son protagonistas en las granjas agroecológicas, practicando y difundiendo esta nueva y antigua manera de cultivar la tierra, obtener frutos con alto valor nutricional y ser autosuficientes.

La distribución del aguacate se da por los mismos productores organizados que han puesto sus propias reglas y precios en un mercado local y global; así, los pocos intermediarios son solidarios y ayudan a comercializar tanto el aguacate y los frutos excedentes, como los agro-insumos. El gobierno ha organizado esquemas igualitarios para la exportación de aguacate,

promoviendo el comercio, protegiendo a los pequeños agricultores y brindando acceso y oportunidades a las mujeres en todas las etapas, incluida la transacción comercial. Los acuerdos comerciales en los que participa México se sustentan en la base del respeto a los derechos humanos y mantienen el compromiso de flexibilizar las normas laborales, de salud y la seguridad en el trabajo agrícola.

Desde la estructura gubernamental se han modificado los mecanismos que obstaculizaban la disponibilidad y acceso a alimentos saludables y sostenibles, haciendo con esto que los trámites de reglamentación sean accesibles para todos los productores, fomentando e incentivando el comercio a través de las compras públicas que se dan en los diferentes estados. La nueva política mexicana, de la misma manera en que ha podido incentivar la producción agroecológica, ha regulado el comercio para privilegiar los derechos humanos por encima de los intereses comerciales. En cuanto a desastres y catástrofes, los propios propietarios de las huertas se han asegurado con el fondo que otorga el gobierno, lo que garantiza su inversión en caso de pérdida de la cosecha.

El movimiento por la soberanía alimentaria de nuestro país y la demanda de alimentos sanos y nutritivos en años anteriores provocó que ahora la conciencia alimentaria se propusiera como eje transversal para las estrategias nacionales mexicanas de alimentación, salud y medio ambiente, realizando acciones de cambio en hábitos y concepciones de todo el espectro de la población en torno al alimento y a la salud.

Para este viraje en la producción del aguacate en nuestro país se necesitaron de varias sinergias entre instituciones que finalmente diluyeron sus conflictos de intereses políticos y económicos. El conocimiento transdisciplinario imperó, lo que ha provocado que se reconozcan todos los saberes, comprobándose y perfeccionándose en cada territorio. Las y los expertos académicos han hecho de las huertas aulas en diálogo con los productores. La labor de las organizaciones civiles ha cobrado sus frutos al lograr que un gran porcentaje de la población civil esté interesada en dedicar su tiempo y su convivencia en la huerta como voluntarios y aprendices, obteniendo alimento sano como retribución. El papel del gobierno ha sido crucial, ya que ha respondido a las demandas de la población con programas de apoyo productivo, seguros contra desastres, incentivos económicos y facilidades

en infraestructura de riego y de comunicación que han permitido prosperar a las granjas y huertos.

En cuanto al mercado mundial y a las exportaciones, los huertos lograron su certificación orgánica internacional, ya que no se emplean productos químicos en los cultivos, se cuida la selección del fruto, la aplicación de materias orgánicas como abonos, el control natural de plagas y el uso racional de agua. Las huertas organizadas se han favorecido con los tratamientos cuarentenarios, y los certificados sanitarios y fitosanitarios cumplen con las regulaciones exigidas por el mercado europeo para contar con el permiso de exportación.

El papel del Estado es relevante al obedecer el carácter colectivo de las propuestas ciudadanas a favor de la salud y la vida, al permitir la construcción de alianzas plurisectoriales con enfoque participativo en la creación de los indicadores, salvaguardar la biodiversidad y la salud, para evaluar y tomar las decisiones pertinentes de planificación territorial y desarrollo local.

Discusión

La producción del aguacate ha traído consigo una serie de problemáticas complejas que aluden a las consecuencias adversas no sólo para la salud humana, sino también para el ambiente. En Iberoamérica, esta producción se caracteriza por realizarse en países que cuentan con un acervo importante de capital natural, situación que representa un reto mucho más complejo para la gestión de este sistema productivo. La vorágine de su producción se sustenta en gran medida en los beneficios nutricionales contenidos en este fruto que es rico en antioxidantes y ácidos grasos monoinsaturados. La relevancia del incremento en el consumo del aguacate y otros alimentos altamente nutritivos, como algunas hortalizas, frutos rojos, entre otros, se basa, justamente, en los beneficios nutricionales y de salud que aportan.

La tendencia al consumo de alimentos que contrarresten los problemas de salud generados por la dieta altamente calórica y nutricionalmente pobre ha generado la demanda de alimentos considerados como altamen-

te saludables. El incremento de este fruto con un potencial amplio en su consumo se insertó en la dinámica de comercio global, donde convergen, por un lado, el tema de salud, vinculado a la pandemia de obesidad, y, por otro, con la producción de alimentos considerados estratégicos en términos de su valor comercial.

La producción del aguacate en nuestro país se configuró como elemento clave y disparador del componente económico asociado a la producción para la exportación. Datos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2022) estiman al aguacate como el tercer producto exportable, detrás del jitomate y la cerveza. Somos considerados como el primer productor a nivel mundial, con una producción de 43 %, que equivale a una cosecha de 216 mil hectáreas. Los principales mercados de exportación son Estados Unidos, Israel, Francia, Inglaterra, Canadá y Japón; el principal comprador de aguacate mexicano con un 76 % de importaciones es Estados Unidos, con un equivalente a más de 2 400 millones de dólares (Sistema de Información Arancelaria Vía Internet [SAIVI] 2022).

Esta dinámica forma parte de la expansión del modelo agroalimentario, originado como parte de las políticas neoliberales que concibe al alimento como negocio, incorporan paquetes tecnológicos con semillas patentadas, generando dependencia de estos insumos, y se ven favorecidos por los tratados comerciales; en el caso particular de la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte a la fecha, el valor del aguacate mexicano se ha incrementado en más de 455 % (Cruz-López et al., 2022). Por otro lado, se desarticularon los procesos territoriales de autonomía, autosuficiencia alimentaria, manejo agrícola y uso de recursos naturales, modificando sustantivamente la producción agrícola en las regiones agrarias de nuestro país.

En México, los principales productores de aguacate, como ya se mencionó, son los estados de Michoacán, que aporta 75.2 % de la producción nacional, seguido por los estados de Jalisco y Estado de México. En estas entidades, particularmente en el caso de Michoacán y Jalisco, la producción de este fruto se constituyó como un elemento disparador de tensiones sociales por la tenencia de la tierra, despojo de los territorios a través de procesos de compra-venta injustos para los ejidatarios o a través de la renta de parcelas. La Red de Ambientalistas de Michoacán (Redam) señala que 80 %

de las huertas se han instalado ilegalmente, no cuentan con autorización de cambio de uso de suelo forestal ni de impacto ambiental.

Ahora bien, en cuanto al recurso hídrico, además de otros problemas relacionados con éste y el impacto ambiental que genera el uso de agroquímicos en los suelos y mantos freáticos, según Anguiano et al. (2003), el requerimiento de agua va de los 850 a los 1 500 litros por kilogramo, dependiendo de las condiciones climáticas y de precipitación fluvial. La demanda hídrica ha generado el desvío de agua de arroyos, manantiales, entre otros cauces naturales; muchas veces se capta el líquido en ollas de agua, con las cuales cantidades se riegan superficies de más de dos hectáreas. Estas prácticas evidencian la falta de ordenamiento de los recursos hídricos, limitaciones y sanciones (Redam, 2022).

La transformación del escenario productivo actual al escenario futuro propuesto que enfrenta los fenómenos señalados con anterioridad requiere de una política pública que reconozca la complejidad y diversidad de condiciones locales, que incentive la producción agroecológica a través de la construcción participativa y la difusión local del conocimiento de prácticas culturales asociadas al cultivo de aguacate. Para esto, se requiere la creación de instrumentos coordinados entre las dependencias públicas involucradas que promuevan la agroecología.

Le Coq et al. (2018) destacan los siguientes mecanismos de gestión del conocimiento y acceso a los recursos: (a) la promoción de intercambios horizontales del conocimiento; (b) la valorización de técnicas tradicionales como el sistema milpa y la chinampa; (c) la promoción de redes territoriales de conocimiento agroecológico; (d) así como las acciones que faciliten el acceso al crédito, así como a los activos productivos de la tierra y el agua.

Los instrumentos de acceso a los mercados, identificados por estos autores, consisten en la certificación orgánica participativa, el fomento de los circuitos cortos a través de ferias, cooperativas de consumidores y compras públicas orientadas a los productores agroecológicos. En lo referente a la exportación, se requiere ampliar la cobertura de programas con esquemas de capacitación y de apoyo con capital semilla, ya que estos han demostrado tener éxito (Ramírez et al., 2006).

Los instrumentos de subsidio para el medio ambiente proponen la regulación de las variedades genéticamente modificadas; tal es el caso del

decreto mexicano que prohíbe la importación de maíz transgénico, los programas encaminados a la reducción de pesticidas, el reconocimiento de los beneficios ambientales, la protección del agua y la biodiversidad, la eficiencia energética y la promoción de fábricas de bioinsumos como las 25 ya existentes en Michoacán, que forman parte de un programa gubernamental que fomenta el cambio de prácticas agrícolas por medio de la capacitación.

Otra de las herramientas importantes que forma parte de los instrumentos económicos, y que está enfocada en la gestión de riesgos, es el seguro agropecuario. Se han realizado estudios como el de Díaz (2006) que, derivado del análisis de la experiencia mexicana, propone las rutas necesarias para la viabilidad en este tipo de política pública. Las medidas de carácter financiero y fiscal, como sugiere Pérez (2006), deben garantizar un sistema preferencial de créditos sin intereses para los productores que deseen reconvertir sus sistemas agrícolas.

Es importante destacar que los instrumentos de política pública necesitan, para su creación, desarrollo y consecución de la organización y cohesión de los productores, ya que esto propicia el fortalecimiento y acrecienta las posibilidades de acceso a créditos, participación en programas y acceso a información para la toma de decisiones.

La prospectiva del futuro del aguacate mexicano requiere de acciones positivas que permitirán rediseñar la producción y distribución, así como la transformación del consumo responsable y solidario. La prospectiva como proyecto político que busca transformar estratégicamente el escenario crítico actual se gesta desde los movimientos por la soberanía y autonomía alimentaria de Iberoamérica y el mundo.

En el contexto mexicano de injusticias socioeconómicas, de violencias, de instituciones democráticas debilitadas y promesas de bienestar basadas en el crecimiento económico y en los avances tecnocientíficos, las decisiones que se tomen a nivel estructural tendrían que ser planteadas desde la defensa de los derechos y la sostenibilidad humana; desde la necesidad de mitigar el cambio climático y dismantelar el negocio del hambre, y desde la urgencia de preservar y regenerar los sistemas bioculturales que nos han sostenido.

Referencias

- Altieri, M. (2009). El estado del arte de la agroecología: Revisando avances y desafíos. En M. Altieri (Ed.) *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología.
- Alves, P. (2015). *Evolução da produção mundial e nacional de abacate* [Tesis de licenciatura, Universidad de Brasilia].
- Anguiano-Contreras, J., Coria-Avalos, V. M., Ruíz-Corral, J. A., Chávez-León, G., y Alcántar-Rocillo, J. J. (2003). Caracterización edáfica y climática del área productora de aguacate persea americana Hass en Michoacán, México. En *Proceedings V World Avocado Congress* [Actas. V Congreso Mundial del Aguacate, pp. 323-328].
- Bedoya, E., y Julca, A. (2020). Caracterización de fincas productoras del cultivo de palto en la región Moquegua, Perú. *IDESIA*, 38(3), 59-67.
- Bernal E., J. A., y Díaz D., C. A. (2005). Generalidades del cultivo. En J. A. Bernal, C. A. Díaz (Comps.), *Tecnología para el Cultivo del Aguacate*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) / Centro de Investigación La Selva.
- Beya, V., Baeza, B., Bustamante, C., Ceballos, A., Pizarro, E., Seguel, O., Kremer, C., y Galliguillos, M. (2021). Paquete tecnológico para la optimización del recurso hídrico en pequeños productores de aguacates y cítricos en Chile Central. *Aqua-LAC*, 13(1), 16-33. <https://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/264>
- Burgos, A., Anaya, C., y Cuevas, G. (2012). *Impacto ecológico del Cultivo de Aguacate a nivel regional y de parcela en el Estado de Michoacán: Definición de una Tipología de Productores* [Etapa II]. Fundación Produce Michoacán / Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA-UNAM).
- Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (2000). *Sociedad Caribeña de Cultivos Alimenticios* [36 Memoria Anual]. CEDAF.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2017). Reporte Caso de Exportación: El aguacate. CEDRSSA.
- Centro da Qualidade em Horticultura (2015). Abacate *Persea americana*. *Normas de Classificação - Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura*, 13(1). <https://ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/abacate.pdf>
- Cruz-López, D. F., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V. G., y Reza Salgado, J. (2022). Competitividad De Las Exportaciones De Aguacate Hass De México En El Mercado Mundial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(2), 355-62.
- Cuevas, M. (16 de noviembre de 2007). *Influencia del manejo y condiciones edafoclimáticas sobre la calidad del aguacate (Persea americana Mill) CV. 'SEMIL 34' en República Dominicana*. Actas VI Congreso Mundial del Aguacate, Viña del Mar, Chile. <http://www.avocadosource.com/wac6/es/Extenso/4a-155.pdf>
- Delfín, O., Bonales, J., y Rocha, C. (2018). Competitividad internacional del aguacate orgánico en Michoacán, un estudio basado en la metodología Partial Least Squares. *Revista Nicolaita Económicos*, 13(1), 119-139. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-nicolaita-de-estudios-economicos/articulo/competitividad-internacio->

- nal-del-aguacate-organico-en-michoacan-un-estudio-basado-en-la-metodologia-partial-least-squares
- Díaz, E. (2006). *El seguro agropecuario en México: experiencias recientes* [Serie estudios y perspectivas, 63]. Cepal.
- Freire, A. M., Amaral, B., Rodríguez, S., Cantaurias, T., y Fassio, C. (2018). Avances en la propagación del aguacate. *Revista Brasileira de Fruticultura* 40(6). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018782>
- Octávio, J. (6 de noviembre de 2018). Brasil: La mayor parte de la producción de aguacate está destinada al mercado interno. *FreshPlaza*. <https://www.freshplaza.es/articulo/9039442/brasil-la-mayor-parte-de-la-produccion-de-aguacate-esta-destinada-al-mercado-interno/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20brasile%C3%B1a%20de%20aguacate,90%25%20de%20la%20producci%C3%B3n%20nacional>
- Fuentes, A. (2015). Narcotráfico y autodefensa comunitaria en “Tierra Caliente”, Michoacán, México. *Ciencia UAT*, 10(1), 68-82.
- Gallo, Y., y Suárez, M. (2020). *Crecimiento del aguacate en Colombia: Un análisis externo de factores y variables* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Oriente].
- García, B. (2020). *La producción de aguacate has (Persea americana) como eje de desarrollo en Tetela del Volcán, Morelos* [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4436>
- Gómez, C. (2010). *Caracterización del sistema de producción de aguacate en las cuencas altas de la presa de Sabana Yegua, Azua, República Dominicana* [Tesis de licenciatura, Escuela agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/items/2d3e5e3f-238e-4f74-8503-51172e3cbe44>
- González, G., Figueroa, I., Perdomo, M., y Ardila, X. (2018). Producción de aguacate Hass una alternativa para el departamento del Huila. *Revista Crecer Empresarial*, 2.
- Guevara, W., Hidalgo, C., y Rojas, J. (2021). Análisis de la agroindustria chilena del aguacate (palta) en el mercado internacional. *Chilean Journal of Agricultural Science*, 37(1), 54-64.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica (2020). *Estudio técnico de aguacateras en el estado de Jalisco*. IIEG.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuaria (2022). Investigación en aguacate para mejorar la cadena productiva: INIFAP. <https://www.gob.mx/inifap/es/articulos/investigacion-en-aguacate-para-mejorar-la-cadena-productiva-inifap?idiom=es>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2020). *Resolución No. 082394*. <https://www.ica.gov.co/getattachment/446ac25a-0fd7-4fd8-ae9f-2e50f0047c8b/2020R82394.aspx>
- Le Coq, J., Patrouilleau, M., Sabourin, S., y Niederle, P. (2018). *Políticas públicas que promueven la agroecología y producción orgánica en América Latina*. Conferência Internacional de Agricultura e Alimentação em uma Sociedade Urbanizada, Porto Alegre, Brasil. <https://hal.science/hal-02794344/document#:~:text=La%20agroecolog%C3%ADa%20pol%C3%ADtica%20sostenida%20por,soberan%C3%ADa%20alimentaria%20a%20nivel%20territorial>

- Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Sepúlveda, P., Maldonado, P., Toledo, C., Barrera, C., y Celledón, J. (2010). El cultivo de palto. *Boletín INIA* [n° 129].
- Montiel, G., Krishnamurthy, L., Vázquez, A., y Uribe, M. (2008). Opciones agroforestales para productores de aguacate. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 85-90.
- Nataren, J., Angel, A. del, Megchu, J., Ramírez, y Meneses, I. (2020). Caracterización productiva del aguacate (*Persea americana*) en la zona de alta montaña Veracruz, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 6(12).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (s.f.). FAOSTAT Base de datos estadísticos. FAO. <http://www.fao.org/faostat/es/avocado>.
- Pérez, J. (2006). La política de fomento a la agricultura orgánica. *El Cotidiano*, 21(139).
- Pérez, R., Villanueva, S., y Cosío, R. (2005). El aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. *e-Gnosis*, 3.
- Ramírez, L., Schwentesius, R., Gómez, A., y Martínez, E. (2006). La organización de productores y los programas de comercialización del sorgo en Guanajuato (Mexico). *Problemas del Desarrollo*, 37(145), 177-201.
- Rojas-Pérez, L., Cruz-Castillo, J. G., Monterroso-Rivas, A. I., y Flores-Magdaleno, H. (2022). Avocado (*Persea americana* Mill.) production in Huatusco, Veracruz, Mexico. *Agro Productividad*, 13. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i12.2358>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2016). *Puebla 7° a nivel nacional en producción de aguacate*. Sader. <https://www.gob.mx/agricultura%7Cpuebla/articulos/puebla-7-lugar-a-nivel-nacional-en-produccion-de-aguacate>
- SADER. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2019). Avance de la Producción de Aguacate en la Entidad Mexiquense. <https://www.gob.mx/agricultura/edomex/articulos/avance-de-la-produccion-de-aguacate-en-la-entidad-mexiquense?idiom=es#:~:text=El%20Estado%20de%20M%C3%A9xico%20es,de%20Bravo%2C%20Villa%20de%20allende>.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). *Productores de pequeña escala, los principales exportadores de aguacate a Estados Unidos: Agricultura*. Sader. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/productores-de-pequena-escala-los-principales-exportadores-de-aguacate-a-estados-unidos-agricultura>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017). *Aguacate Mexicano* [Planeación Agrícola Nacional 2017-2030]. Sagarpa. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf>
- Sánchez, A., y Sánchez, G. (2021). El clúster del aguacate en México. Un crecimiento sostenido a partir de la producción y desarrollo del mercado. *Revista RIVAR*, 8(24).
- Sangerman-Jarquín, D. M., Larqué-Saavedra, B. S., Omaña-Silvestre, J. M., Shwenstsius de Rinderman, R., y Navarro-Bravo, A. (2014). Tipología del productor de aguacate en el estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 1081-1095.
- Schwentesius, R., Gómez Cruz, M., Ortigoza, J., y Gómez, L. (2014). México orgánico: situación y perspectivas. *Agroecología*, 9, 1-2.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2019). Plan de acción para la conservación de la mariposa monarca en México, 2018-2024. Semarnat / CONANP.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021a). *Anuario Estadística de Producción Agrícola*. SIAP. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021b). *Panorama Agroalimentario 2021*. SIAP. https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_siap/
- Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (2022). *Aguacates (paltas)*. Secretaría de Economía. SIAVI.
- Vivero, A., Valenzuela, R., Valenzuela, A., y Morales, G. (2019). Palta: compuestos bioactivos y sus potenciales beneficios en salud. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(4), 491-498.
- Yabrudy, J. (2012). *Documento de trabajo sobre economía regional*. Banco de la República / Centro de Estudios Económicos regionales (CREER).

13. Prospectiva socioeconómica y ambiental de plantaciones y agroindustrias de cítricos en México



LUIS ALBERTO OLVERA VARGAS*
NOÉ AGUILAR RIVERA**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.13>

Resumen

Se considera a los cítricos —grupo de especies del género *Citrus*— como parte de los frutales cultivados en México de mayor importancia; tan sólo en el estado de Veracruz representa una fuente fundamental de ingresos en sus principales zonas productoras, tanto por las ganancias generadas a los productores, como por los empleos que se generan. No obstante, la citricultura enfrenta serios problemas económicos, ambientales y tecnológicos que afectan gravemente su productividad y la sustentabilidad del cultivo en el mediano y largo plazo; sobre todo por el uso indiscriminado de herbicidas como el glifosato; la presencia de plagas y enfermedades; el bajo esquema de mecanización; falta de apoyos económicos y técnicos que faciliten la producción de los cultivos; y por el nulo uso de los residuos de procesamiento. Se pronostican tiempos difíciles para la citricultura en México, particularmente por el cambio en el manejo agronómico, que podría tener repercusiones en el aspecto social, económico, ambiental y en la disminución de exportaciones. Programas y acciones en los ámbitos académicos, la industriales y gubernamentales deberán definirse y enfocarse a mejorar las prácticas agrícolas; además de organizar y promover apoyos al sector, sobre todo en las áreas con mayor producción. El pre-

* Doctor en Ciencias Ambientales. Profesor, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8771-6575>

** Doctor en Ciencias Ambientales. Profesor, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7833-6749>

sente trabajo analiza opciones de manejo de plantaciones y de residuos (compostaje de cáscaras) que podrían aplicarse para mejorar la productividad desde un enfoque interdisciplinario para, de este modo, transitar hacia un modelo de desarrollo sostenible.

Palabras clave: *plantaciones, agroindustria, cítricos, México.*

Introducción

El cultivo de los cítricos tiene gran relevancia en México, particularmente, por la superficie que ocupa, la producción, el ingreso que genera y el número de personas que están empleadas en los distintos procesos de producción y comercialización. A nivel mundial, México ocupa el cuarto lugar en producción de cítricos después de China, Brasil e India; para 2021, contribuyó con 4.2 % del total mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés], 2021). En el interior del país, los cítricos se producen comercialmente en 28 estados (tabla 13.1); aunque hay que señalar que también se usa como planta de ornato cultivada en zonas extensas del país.

En los registros del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el último reporte indica que en 2021 se produjeron 8 millones 240 mil toneladas de cítricos, distribuidos de la siguiente manera: 35.8 % de limón, 2.8 % de mandarina, 55.7 % de naranja y 5.7 % de toronja; esta producción representó un valor aproximado de 34 mil millones de pesos para los estados citricultores. De la producción nacional obtenida, en promedio, se destina 75 % al mercado de consumo en fresco, 15 % a la industria y 10 % para la exportación. En los últimos tres años se ha tenido un aumento en la exportación de cítricos de entre 15 y 35 %, siendo el principal importador Estados Unidos. Sin embargo, la venta se ha extendido e incrementado en países como Alemania, Japón, Reino Unido y Países Bajos (SIAP, 2021). México es el segundo mejor exportador de productos citrícolas, sólo por debajo de España, cuya producción ha generado más de 200 millones de dólares en ganancias para el país (FAO, 2021).

Tabla 13.1. *Distribución de tipo de cítricos por estado*

	<i>Limón</i>	<i>Mandarina</i>	<i>Naranja</i>	<i>Toronja</i>
Aguascalientes	*		*	
Baja California	*	*	*	*
Baja California Sur	*	*	*	*
Campeche	*	*	*	*
Colima	*		*	*
Chiapas	*	*	*	
Durango	*		*	*
Guanajuato	*		*	
Guerrero	*	*	*	*
Hidalgo	*	*	*	
Jalisco	*		*	*
México	*	*	*	
Michoacán	*		*	*
Morelos	*	*	*	*
Nayarit	*	*	*	
Nuevo León	*	*	*	*
Oaxaca	*		*	*
Puebla	*	*	*	*
Querétaro	*		*	
Quintana Roo	*	*	*	
San Luis Potosí	*	*	*	*
Sinaloa	*	*	*	*
Sonora	*	*	*	*
Tabasco	*	*	*	*
Tamaulipas	*	*	*	*
Veracruz	*	*	*	*
Yucatán	*	*	*	*
Zacatecas	*		*	

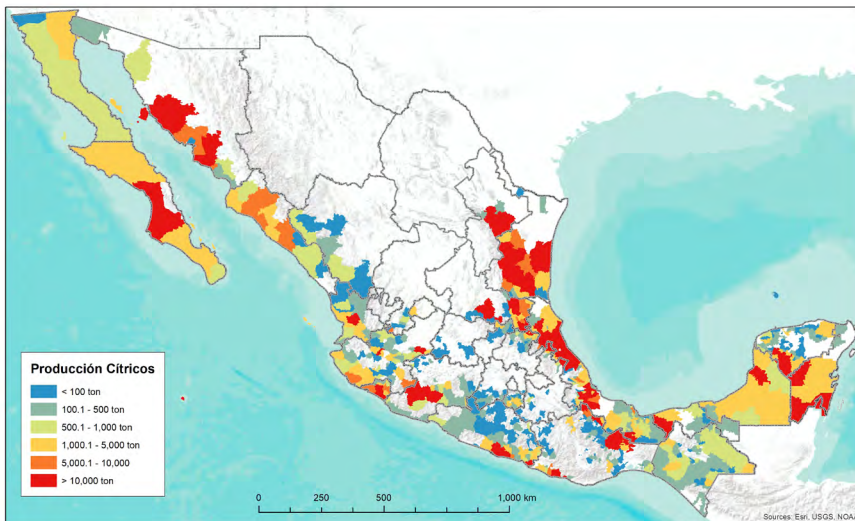
Fuente: Elaboración propia.

Los cítricos se cultivan en 733 de los 2457 municipios que tiene el país. Veracruz es el estado con mayor superficie y producción de cítricos, con 39.1 %, en territorio, y 41.6 %, en producción, del total nacional. Sin embargo, estados como Michoacán reportan una producción importante de limón y toronja; Tamaulipas, de naranja y toronja; San Luis Potosí y Puebla, de mandarina y naranja; Colima y Oaxaca, de limón; y Nuevo León, de naranja (figura 13.1). Dentro del grupo de los cítricos, la naranja es la especie más producida y la de mayor expansión en México, la variedad Valencia es la más representativa, aunque existen espacios con variedades de naranja agria,

criolla, *hamlin*, *marrs* y *pineapple*. En cuanto al limón, la variedad agria (mexicano) y persa son las predominantes, con un pequeño porcentaje de la variedad italiana. Las variedades más representativas de mandarina cultivada en México son la *dancy*, *fremont* y criolla; en menor porcentaje, también están las variedades *murcot* y *Fairchild*. En la toronja, la variedad predominante es la *ruby red*, con pequeños porcentajes de criolla, doble roja, *marsh* y *red blush* (SIAP, 2021).

A nivel nacional, la producción de cítricos se ha mantenido en los últimos diez años con variaciones entre las 6 600 000 y las 8 400 000 toneladas; mientras que la superficie sembrada se ha incrementado 7.9%, equivalente a cerca de 50 000 ha en todo el país. En el caso del valor de la producción, las ganancias aumentaron poco más de 250% en el mismo periodo de 10 años, lo que representa una ganancia superior a 21 000 millones de pesos (SIAP, 2021).

Figura 13.1. Producción de cítricos a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia.

En Veracruz, después del maíz y la caña de azúcar, los cítricos son el grupo de cultivos más importante; puesto que ocupan 16.2% del total de la superficie dedicada a la agricultura del estado y se produce en 115 de los

212 municipios que existen en el estado de Veracruz: la naranja se siembra en 167 000 ha; el limón, en 52 000; la mandarina, en 9 000, y la toronja, en 8 000 h. En conjunto, estos cítricos contribuyen anualmente con 26.8% del valor total de la producción generado por la agricultura en el estado; esto representa 12 000 millones de pesos para Veracruz (SIAP, 2021). Las regiones más importantes en la producción de cítricos son: la Huasteca Baja, Tototlán y Nautla; donde los municipios de Álamo Temapache, Martínez de la Torre, Papantla, Tihuatlán, Castillo de Teayo y Aztlán son los que mayor superficie sembrada reportan, con más de 10 000 h, y quienes registran una mayor producción, con más de 150 000 toneladas.

Se calcula que el cultivo de los cítricos involucra alrededor de 75 000 productores a nivel nacional y genera empleos indirectamente a más de 250 000 personas. En Veracruz, se calcula que existen más de 30 000 productores de cítricos, de los cuales cerca de 75% son productores de naranja (Gómez-Cruz et al., 2016). De acuerdo con un estudio de Lara y Cervantes (2014), se calcula que en Veracruz la distribución tipológica de productores es de 8%, correspondiente a los de subsistencia o autoconsumo, esto es, de traspatio o pequeña porción de tierra ejidal de entre 300 y 600 m²); 34% son pequeños productores con menos de 1.5 ha; 49%, productores medianos, de 1.6 a 5.4 ha, y 9%, grandes productores, con más de 5.5 ha.

Estas diferencias en el tipo de productor implican manejos y ganancias significativas en la producción, comercialización y distribución de los cítricos en el estado. Respecto al género y edad de los productores cítricos de Veracruz, se calcula que 81% de ellos son hombres y 19%, mujeres; mientras que, por edades, se estima que 62.3% son adultos mayores, 37.2%, adultos, y sólo 0.5%, jóvenes (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural[Sader], 2018).

Los cítricos se cultivan casi todo el año, desde el municipio de Othón P. Blanco al sur de Quintana Roo, hasta Hermosillo, Sonora, Ensenada y Tijuana en Baja California, y Comondú en Baja California Sur, en el occidente; así como en General Terán y Abasolo, Tamaulipas, al nororiente del país. El limón y la toronja se cosechan, predominantemente, de agosto a enero, mientras que la recolección de naranja y mandarina se realiza de febrero a mayo. Por su parte, en Veracruz, la naranja y mandarina se cosecha de noviembre a abril, la toronja de septiembre a diciembre, con una ventana

en mayo; mientras que el corte de limón se lleva a cabo principalmente de octubre a diciembre.

De acuerdo con datos de la Sader (2017) y el SIAP (2021), 18 % de los cítricos se cultivan bajo condiciones de riego y buena tecnología; 32 % se cultiva en zonas montañosas bajo condiciones de riego y temporal con métodos de labranza sin tecnología; mientras que 50 % de los cítricos se cultiva en áreas planas y mecanizadas, de temporal en su mayoría, cercanas a comunidades, agroindustrias y centros de mercado.

Perspectiva ambiental

Como se mencionó antes, los cítricos se cultivan de forma extensiva en el país, desde la frontera sur en Quintana Roo hasta la frontera norte en Baja California y Tamaulipas, recorriendo, casi de forma continua, las planicies del Pacífico y el Golfo de México. Por tal motivo, los cítricos se cultivan lo mismo al nivel del mar que hasta casi 2 500 msnm. Esto implica que su cultivo ocurre en diversos climas: templados, cálidos, áridos y semidesérticos. Sin embargo, este factor es determinante en el desarrollo y calidad de los cítricos, y aunque las condiciones varían dependiendo de las especies (naranja, limón, toronja), las características climáticas óptimas generales son: climas cálidos y húmedos con altitudes moderadas menores a los 1 000 msnm; suelos permeables que van de francos a arenosos con un nivel de pH de entre 5 y 7; temperaturas de 20 a 28°C, y precipitaciones entre los 1 000 y 2 000 mm (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [Sagarpa], 2017).

Es importante señalar que uno de los principales factores que ha limitado la producción de los cítricos es la temperatura; en especial aquellas inferiores a los 4° C y las superiores a los 30° C; ya que la maduración de la fruta y la floración se alteran o retrasan, provocando la pudrición o pérdida del cítrico (Ruíz et al., 2013). Estos daños dependen de la variedad del cítrico, la edad de las plantaciones, el estado nutrimental de los árboles, la duración del evento climático, etc. Aunque los cítricos tienen una alta capacidad de adaptación a climas diversos, como zonas áridas y semiáridas, sin riego y manejo eficaz, frente a tales condiciones, suele haber una mala calidad del fruto.

Otro factor ambiental determinante en la producción de los cítricos está

asociado con plagas y enfermedades. Los problemas fitosanitarios pueden provocar pérdidas enormes en su producción, ya que disminuyen gradualmente la calidad y el rendimiento, incluso pueden causar la muerte del árbol, y aunque algunas de estas afecciones son más devastadoras que otras, el control y manejo fitosanitario implica recursos humanos y económicos que ocasionan, en última instancia, consecuencias de tipo económico, ambiental y de salud pública. La presencia de algunas plagas y enfermedades en este y otros cultivos puede ocasionar restricciones en la movilidad y comercialización del material propagativo y de la fruta fresca (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [Senasica], 2020).

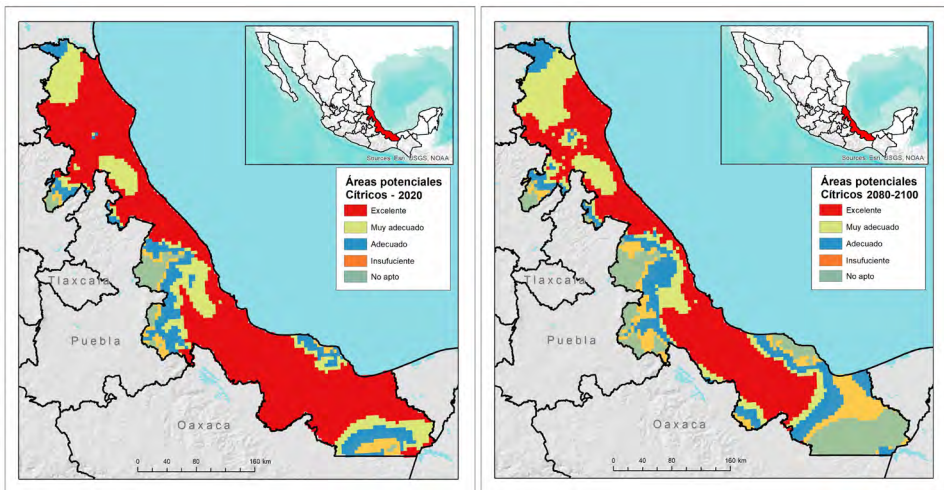
Según la Organización Norteamericana de Protección a las Plantas (NAPPO, por sus siglas en inglés, 2013), el sistema producto Cítricos es atacado por poco más de 700 plagas o enfermedades, entre las que sobresalen la leprosis, el virus de la tristeza (VTC), la mosca del Mediterráneo, la mosca de la fruta, el psílido asiático y el Huanglongbing (HLB). Este último se ha convertido en el problema más severo de la citricultura actual, ya que se disemina rápidamente, es de difícil control y no tiene cura. Esta bacteria se encuentra en casi todas las áreas cítricas del mundo; en México se detectó por primera vez en el municipio de Tizimín, Yucatán, en el año 2009. Para el 2012 se reportaba en 182 municipios de 16 estados del país, y en la actualidad se encuentra en casi la totalidad de las áreas cítricas; se estima que cerca de 23 % de los huertos comerciales tienen presente la bacteria (Senasica, 2020; Olvera, 2014).

Bajo este contexto, diversos factores ambientales, asociados entre ellos, pueden repercutir en la productividad y rentabilidad de los cítricos. La temperatura, la precipitación y la sequía son fenómenos naturales muy estudiados; de modo que las predicciones hechas para un futuro a mediano y largo plazo son cada vez menos omisas en sus cálculos. El Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6 (CMIP6, por sus siglas en inglés) (Eyring et al., 2016), presentado como insumo en la plataforma de WorldClim para conocer las condiciones climáticas futuras, puede servir como herramienta para modelar los posibles escenarios que se presenten en las áreas cítricas, ya que los modelos climáticos suponen una variabilidad en las temperaturas y precipitaciones a largo plazo.

Durante esta investigación se usaron como referencia las coordenadas

geográficas de los centroides de las parcelas de cítricos en Veracruz y las capas de estos modelos CMIP6 con una resolución de 2.5 minutos; también se estableció un escenario de las áreas potenciales con cítricos para los años 2081-2100. Con la finalidad de comparar escenarios, se realizó paralelamente un modelo con datos climáticos actuales (2020), usando como referencia espacial las mismas coordenadas geográficas de los centroides de las parcelas de cítricos. El resultado se presenta en la figura 13.2.

Figura 13.2. Áreas potenciales para cítricos en la actualidad 2020 (izq.) y escenario de áreas potenciales para el periodo 2080-2100 (der.)



Fuente: Elaboración propia.

Con base en los escenarios potenciales, usando como referencia principal el cambio climático (temperatura, precipitación y sequía) y los problemas fitosanitarios, es posible observar que las condiciones óptimas de los cítricos disminuirán; lo que supone que las áreas serán menos productivas y tendrán rendimientos más bajos (tabla 13.2). En la actualidad, 65 % de las áreas cítricas se distribuyen en sitios con condiciones óptimas-excelentes; 3 %, en áreas muy adecuadas, y 3 %, en adecuadas; de modo que 99 % de las áreas cítricas están los espacios adecuados. Cabe aclarar que los modelos se generaron con las coordenadas geográficas puntuales donde actualmente hay cítricos, razón por la cual el porcentaje de adecuación es cercano al 100 %.

Si los sitios en donde actualmente se realiza la siembra de cítricos no se

moviera, dentro de 60 años y bajo cambios climáticos graves, las áreas con condiciones óptimas se reducirían en más de 60 000 ha; es decir, las zonas de cultivo estarían catalogadas como insuficientes y no aptas. Estos cambios podrían generar pérdidas económicas para los citricultores, crecería la frontera agrícola como consecuencia de esta pérdida, aumentaría el uso de agroquímicos para elevar los rendimientos, se elevarían los costos de producción, y se dañaría el ambiente por la deforestación y el uso de herbicidas y plaguicidas.

Tabla 13.2. Escenarios de condiciones óptimas de la citricultura en Veracruz

Áreas potenciales	Condiciones óptimas 2020		Condiciones óptimas 2080-2100	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Excelente	391 958	65	295 476	49
Muy adecuado	186 934	31	186 934	31
Adecuado	18 090	3	54 271	9
Insuficiente	5 427	0.9	30 151	5
No apto	603	0	36 181	6

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que los escenarios ambientales mundiales no son favorables, estimaciones económicas indican que en el año 2024 la producción será de 10 400 000 toneladas; mientras que para el 2030, llegarían a los 12 200 000 toneladas. Esto tendrá un impacto favorable en las exportaciones, que pasarían de los 3 200 000 toneladas en el año 2024, hasta los 5 160 000 toneladas, con un beneficio económico de más de 2 160 000 dólares (Sader, 2017).

Manejo de residuos como alternativa sustentable

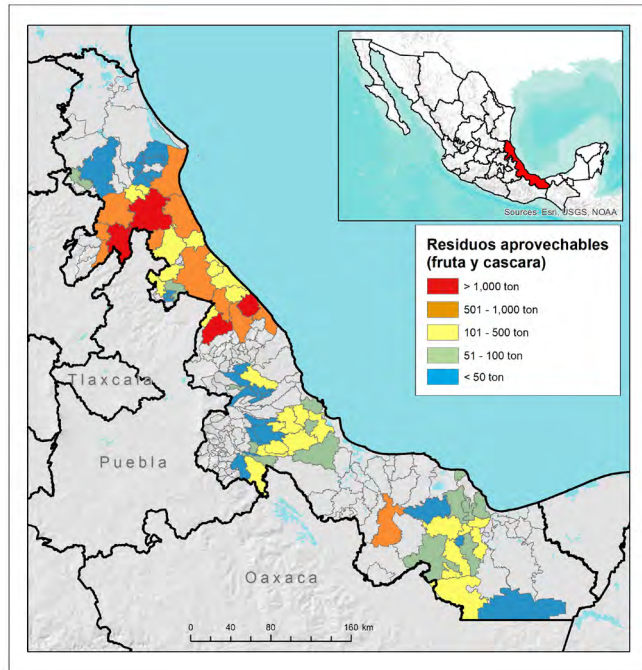
Los residuos frutícolas como ramas, pulpa, cáscara, hojas, semillas, etc., pueden ser utilizados como sustratos renovables, ya que están compuestos por carbohidratos simples como la celulosa, la lignina, la hemicelulosa y demás compuestos que pueden ser de interés para la industria alimentaria, farmacéutica y biotecnológica. Rivera y Blanco (2013) reportan que existen

más de 3 000 patentes registradas para el aprovechamiento de compuestos y residuos de cítricos (naranja, limón, mandarina y toronja). Los principales usos se dan en el área médica, dental o de aseo personal, productos farmacéuticos o químicos para la asepsia, compuestos químicos para preparaciones medicinales (actividad terapéutica), alimentos o bebidas no alcohólicas con cualidades nutricionales, para la conservación de alimentos en general, para la conservación de cuerpos humanos o animales, para la eliminación o prevención de organismos no deseados (repelentes o reguladores del crecimiento), sustancias que repelen animales (biocidas), invenciones para uso cosmético o similares, así como para la fabricación del tabaco o productos para mascar.

El manejo de los cítricos involucra cuatro etapas: (a) una vez cosechados, (b) los frutos son transportados a la planta procesadora, donde se remueven los residuos para, posteriormente, ser lavados; (c) enseguida, exprimido y centrifugado el fruto, el jugo extraído es calentado para activar las enzimas pectinasas, y es transferido a los concentradores, donde se adiciona ácido cítrico, enzimas y vitamina C, con el fin de obtener la mejor calidad; (d) por último, el jugo es envasado en recipientes esterilizados y empacado para el consumo doméstico o su exportación (Taghizadeh-Alisarai et al., 2017).

El uso de residuos de cítricos puede traer ventajas socioeconómicas y ambientales como la reducción de *commodities* alimenticios; detención del crecimiento de la frontera agrícola para la instalación de plantaciones cítricas, deterioro del suelo y contaminación del agua; generación de insumos para biorrefinerías; así como la creación de tecnologías simples o convencionales para la producción de alimento destinado al ganado, fertilizantes orgánicos, biogás y combustibles ecológicos. De hecho, la agroindustria cítrica produce una cantidad importante de residuos en la elaboración de jugos, en donde la cáscara representa casi 50 % de masa húmeda de la fruta; así, procesar y aprovechar este material orgánico representa ganancias económicas para la industria y los productores. Cabe señalar que existe una pérdida considerable de fruta que no se cosecha; de acuerdo con estimaciones del SIAP (2021), en Veracruz más de 23 000 toneladas de estas frutas no se cosechan (figura 13.3), materia prima que podría ser aprovechada para el manejo de residuos.

Figura 13.3. Cantidad de residuos cítricos generados por la no cosecha



Fuente: Elaboración propia.

El procesamiento de la naranja genera un volumen importante de subproductos que requieren ser tratados apropiadamente, si bien un porcentaje de estos es empleado como materia prima para otros procesos básicos y complejos, reportados por Mohsin et al. (2022), Costa et al. (2022), Teigiserova et al. (2022) y Torre et al. (2019), es necesario contar con alternativas para evitar la generación de fuentes de contaminación ambiental y cumplir con las normas oficiales (NOM-061-Semarnat-2011, NOM-083-Semarnat-2003 y NOM-092-Semarnat-2002) para su correcta disposición, de manera que se generen nuevas cadenas de valor de ese subproducto a nivel regional.

Así, en los principales municipios productores como Álamo Temapache y Martínez de la Torre, en el estado de Veracruz, se encuentran instaladas empacadoras y procesadoras de jugo simple; procesadoras de jugo concentrado, de aceite esencial y de cáscara deshidratada. Sin embargo, el tratamiento de los subproductos es incipiente, puesto que las empresas jugueras

que no deshidratan la cáscara de naranja, esto es, el subproducto del proceso, conservan un componente que requiere de tratamiento o manejo especial para eliminarlo de las instalaciones.

Tradicionalmente, los residuos o subproductos de cítricos procesados son incinerados o depositados en vertederos; sin embargo, es insuficiente y problemático en términos del impacto ambiental, el costo energético para la eliminación del contenido de humedad (si son sometidos a incineración), y el costo económico que implica su transporte hacia los vertederos. Sólo una parte de los residuos son empleados como complemento para alimentación animal, y su bajo contenido proteínico, a pesar de su materia orgánica, representa una desventaja para tales fines.

La valorización de los residuos de cítricos procesados tiene un gran potencial para la transición a la bioeconomía; aunque el impacto negativo que tiene el procesamiento de los cítricos en el ambiente hace que los esquemas de valorización de los residuos o subproductos sean más importantes; recaen en la necesidad de mitigar el impacto ambiental negativo introduciendo esquemas de valorización verde que permitan integrar una plataforma de biorrefinería, usando tecnología bioquímica como la fermentación y la digestión anaeróbica, que han sido evaluadas como rentables en el aspecto económico y ambiental. En la mayoría de los casos, las tecnologías verdes están acopladas a un tratamiento hidrotérmico asociado a un uso mínimo o nulo de productos químicos (Satari et al., 2018).

El bagazo, cáscara u *orange peel waste* (OPW), es el principal subproducto del procesamiento de la naranja; la composición de este residuo varía en relación con la región del cual provenga y del proceso de manufactura al que es sometido; no obstante, normalmente representa 50 % del peso total de la fruta, que está conformada por cáscara, membranas y cantidades variables de semillas y jugos. Por otro lado, además de una escasa proporción de fruta entera de descarte por su alto contenido de agua o por ser un potencial contaminante del ambiente, la naranja genera un problema a nivel de plantas industriales (Mariana et al., 2021).

La composición del bagazo es básicamente carbohidratos solubles (azúcares simples) y estructurales (hemicelulosas, celulosas y pectinas) fácilmente fermentables en el rumen de animales rumiantes; al mismo tiempo, el material posee una baja concentración proteica. Se considera un residuo

de alto valor energético con algunas limitaciones para su aprovechamiento en fresco, debido al elevado contenido de agua y a la variable aceptabilidad (en el caso de la alimentación bovina). La composición básica este subproducto de la naranja se muestra en la tabla 13.3.

Tabla 13.3. *Análisis bromatológico efectuado a cáscaras de naranja de la región centro de Veracruz (AOAC, 1997)*

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>
Humedad	%	75.39
Cenizas	%	4.67
Grasas base seca (BS)	%	1.99
Grasas base húmeda (BH)	%	1.5
Fibra base seca (BS)	%	9.19
Fibra base húmeda (BH)	%	6.93
Proteína base seca (BS)	%	6.56
Proteína base húmeda (BH)	%	4.94
Extracto etéreo (ELN)	%	2.2

Fuente: Elaboración propia.

Como subproducto regional es ampliamente abundante y de escasa utilización. En su trabajo, Debernardi-Vázquez et al. (2020, 2017) plantean su valorización a través del compostaje convencional de este y otros subproducto como los procedentes de la agroindustria azucarera, tales como el tlazole y el bagazo de caña, la cachaza y las cenizas obtenidas del proceso, mezclados con el subproducto de naranja; sin embargo, pueden emplearse otros, como la pulpa y la cascarilla del café, la cebada, el arroz, las coronas de piña, etc. Esta tecnología fue replicada en la región centro de Veracruz con subproductos regionales para la producción de cítrico-composta (tablas 13.4 y 13.5).

Tabla 13.4. *Fraccionamiento de humus de la cítrico-composta. Composición de nutrientes y micronutrientes con base en las normas NMX-AA-025-1984 y Nom-021-Semarnat-2000*

<i>C.Total %</i>	<i>C.Total % (H+F)</i>	<i>C.Total % (H)</i>	<i>C.Total % (F)</i>	<i>Índice Humificación %</i>
44.414	0.808	0.462	0.346	57.18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13.5. *Características químicas de la cítrico-composta. Composición de nutrientes y micronutrientes con base en las normas NMX-AA-025-1984 y Nom-021-Semarnat-2000*

<i>Variable</i>	<i>Valor</i>
Humedad (%)	64.31
pH	8.03
Conductividad eléctrica (Sd m ⁻¹)	3.7
Cenizas (%)	24.8
Materia orgánica (%)	75.2
Carbono Total (%)	43.6
Nitrógeno total (%)	1.7
Relación carbono / nitrógeno	25.5
CaO total (%)	5.4
MgO total (%)	0.58
Na ₂ O total (%)	0.067
K ₂ O total (%)	1.4
P ₂ O ₅ total (%)	1.2
Hierro total (%)	0.22
Cobre total (%)	0.0021
Zinc total (%)	0.0109
Manganeso total (%)	0.0387

Fuente: Elaboración propia.

La incorporación de cáscara de naranja y subproductos provenientes de la agroindustria de la caña de azúcar favorece el proceso de composteo integral. Si se consideran la situación ambiental actual y las condiciones tecnológicas, sociales y económicas de los productores de cítricos en las plantas procesadoras, el composteo es una opción viable para valorizar los subproductos que se obtienen de esta agroindustria. El producto final que se consigue cuenta con las características idóneas para ser empleado para mejorar el suelo en los campos de cultivo o para ser comercializado como sustituto de abonos de otras regiones.

Conclusiones

Ante un panorama mundial apremiante en cuanto a escasez de materias primas, energía, agua y su relación con fenómenos derivados de la falta de

sustentabilidad, el efecto invernadero y los problemas socio ecológicos, así como el aprovechamiento óptimo de los recursos con diversos tipos de tecnologías (básicas, convencionales o de frontera), el manejo de residuos orgánicos es de suma importancia para el desarrollo del sector agropecuario. En este trabajo se planteó el estado actual de la citricultura mediante herramientas de análisis espacial que permitieron mostrar una visión global en el tránsito hacia un manejo sostenible de la citricultura, así como el aprovechamiento mediante el compostaje de los subproductos que existen en gran cantidad en las fábricas de jugo de frutas, en el mercado de consumo en fresco, e incluso en las labores del cultivo de los cítricos, y que tienen potencial aprovechable para diversos usos.

Referencias

- Association of Official Analytical Chemist (1997). *Official Methods of Analysis*. AOAC.
- Costa, J. S. da, Maranduba, H. L., Sousa Castro, S. de, Almeida Neto, J. A. de, y Rodrigues, L. B. (2022). Environmental performance of orange citrus waste as raw material for pectin and essential oil production. *Food and Bioproducts Processing*, 135, 165-177.
- Debernardi-Vázquez, T. D. J., Aguilar-Rivera, N., y Núñez-Pastrana, R. (2020). Composting of by products from the orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) and sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids) agroindustries. *Ingeniería e Investigación*, 40(3), 81-88.
- Debernardi-Vázquez, T. D. J., Cisneros, R. M. C., Guzmán, A. B. P., Martínez, F. R., Rivera, N. A., y González, J. M. (2017). Management of Orange (*Citrus sinensis*) wastes from agroindustrial activities using sustainable biodrying and composting processes. En *Agricultural Research Updates* (pp. 97-123). Nova Science Publishers.
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., y Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958.
- Gómez Cruz, M. A., Gómez Tovar, L., Gómez Ochoa, B. G., y Hernández Carlos, A. (2016). Producción de naranja orgánica y agroecológica: difusión de la Tecnología a pequeños productores organizados en Veracruz, México. En P. Abreu y V. da Fontoura (Coord.), *Ciências agrárias, indicadores e sistemas de produção sustentáveis*. Ponta Grossa.
- Lara y Bretón, E., y Cervantes Limón, D. (2014). Vulnerabilidad a plagas debido a factores agroalimentarios y socioeconómicos en tipos de citricultores en México. En G. Galindo-Mendoza y C. Contreras Servín (Coord.), *Huanglongbing y Psílido Asiático*

- de los Cítricos: un acercamiento metodológico multidisciplinario*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Mariana, O. S., Alzate, C., y Ariel, C. (2021). Comparative environmental life cycle assessment of orange peel waste in present productive chains. *Journal of Cleaner Production*, 322.
- Mohsin, A., Hussain, M. H., Zaman, W. Q., Mohsin, M. Z., Zhang, J., Liu, Z., & Guo, M. (2022). Advances in sustainable approaches utilizing orange peel waste to produce highly value-added bioproducts. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(8), 1284-1303.
- Olvera, L. (2014). Análisis Geográfico de la propagación y dispersión del Huanglongbing y el Psílido asiático de los cítricos en México y el mundo. En G. Galindo-Mendoza y C. Contreras Servín (Coord.), *Huanglongbing y Psílido Asiático de los Cítricos: un acercamiento metodológico multidisciplinario*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (s. f.). *Datos sobre alimentación y agricultura*. FAOSTAT.
- Organización Norteamericana de Protección a las Plantas (2013). *Normas Regionales sobre Medidas Fitosanitarias (NRMF)*. NAPPO.
- Rivera, J., y Blanco, J. (2013). *Cítricos, Rutas tecnológicas 2014-2018*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.
- Ruiz C., J. A., Medina G., I. J., González A., H. E., Flores L.G., Ramírez O. C., Ortiz T., K. F., Byerly M., y Martínez P., R. A. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias / Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.
- Satari, B., y Karimi K. (2018). *Citrus processing wastes: Environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization*. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 153-167.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2018). *Unidades Económicas Rurales Agrícolas*. SADER. www.agricultura.gob.mx/proagro/listado-de-beneficiarios
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Potencial Cítricos*. SADER. www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Cítricos*. Sagarpa. www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2020). *Plagas Reglamentadas de los cítricos*. Senasica. www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-reglamentadas-de-los-citricos-110863
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021). *Producción Anual Agrícola - Producción agrícola*. SIAP. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Taghizadeh-Alisaraei, A., Hosseini, S.H., Ghobadian, B., y Motevali, A. (2017). Biofuel production from citrus wastes: a feasibility study in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1100-1112.
- Teigiserova, D. A., Hamelin, L., Tiruta-Barna, L., Ahmadi, A., y Thomsen, M. (2022). Circu-

lar bioeconomy: Life cycle assessment of scaled-up cascading production from orange peel waste under current and future electricity mixes. *Science of the Total Environment*, 812.

Torre, I. de la, Martín-Domínguez, V., Acedos, M. G., Esteban, J., Santos, V. E., y Ladero, M. (2019). Utilisation/upgrading of orange peel waste from a biological biorefinery perspective. *Applied microbiology and biotechnology*, 103, 5975-5991.

14. Áreas con potencial productivo ante el cambio climático. El caso del aguacate en Puebla, México



EDUARDO PÉREZ SOSA*
GUADALUPE REBECA GRANADOS RAMÍREZ**
MIGUEL ÁNGEL SAZ SÁNCHEZ***
MARÍA LUZ HERNÁNDEZ NAVARRO****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.14>

Resumen

La apertura de áreas nuevas para la producción de aguacate en México no cuentan con una zonificación que identifique aquellas de mayor aptitud, sobre todo bajo escenarios de cambio climático. La zonificación de cultivos mediante la planificación agrícola puede ser comparada, complementada o fortalecida con la incorporación de diversas variables o con métodos de ponderación diferentes. Con el fin de fortalecer la toma de decisiones para la planificación agrícola en la producción frutícola del aguacate, así como para futuras investigaciones al respecto, se debe crear una base de datos georreferenciada para las plantaciones de aguacate en Puebla que permita el contraste de los modelos que se generen. Este capítulo tiene como objetivo el evaluar el potencial productivo para el aguacate con base en sus requerimientos ambientales bajo un escenario actual y con cambio climático. Entiéndase el término potencial como las zonas que cuentan con condiciones favorables para el aguacate, pero que no están siendo aprovechadas actualmente, o bien las que podrían ser empleadas para la apertura de nue-

* Doctorante en Geografía, Universidad de Zaragoza. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6488-8537>

** Doctora en Geografía. Profesora, Universidad Nacional Autónoma de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3244-2431>

*** Doctor en Geografía. Profesor, Universidad de Zaragoza. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8979-0253>

**** Doctora en Geografía. Profesora, Universidad de Zaragoza. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4037-6902>

vas plantaciones, sobre todo aquellas que requieren insumos externos y en las que se tendría que prestar más atención para prevenir efectos negativos derivados del cambio climático.

Palabras clave: *aguacate, zonificación, cambio climático, Puebla.*

Introducción

El aguacate es un producto que presenta una demanda progresiva; se proyecta un aumento en su consumo a nivel mundial durante los próximos años, lo cual requerirá de un fortalecimiento a las plantaciones existentes y el establecimiento de nuevos sitios de producción. Sin embargo, la apertura de áreas nuevas sin una zonificación que identifique aquellas de mayor aptitud para el aguacate implicaría la sustitución de cultivos o el cambio de uso del suelo relacionados con una limitada planificación territorial. A nivel mundial, México es el principal productor y exportador de aguacate (*Persea americana* Mill.), estatus que ha mantenido desde hace varias décadas. Otros países productores que contribuyen a la producción total mundial son Perú, Chile, España, Sudáfrica y Kenia (Arias et al., 2018; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020). De acuerdo con los datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2021 se reportaron en México más de 248 000 ha sembradas, de las cuales se obtuvieron aproximadamente 50 000 millones de pesos (SIAP, 2021). Por otro lado, México también es el país donde la ingesta es significativa, aproximadamente el consumo per cápita al año asciende a 8 kg; seguido de Estados Unidos con 3.6 kg y se espera un incremento importante en los países europeos y asiáticos (FAO, 2020).

En México, los principales estados productores son Michoacán, Jalisco, México, Nayarit y Morelos. Puebla se posiciona en el séptimo sitio con más de 16 mil toneladas producidas; su explotación representa un importante ingreso económico para los productores de municipios como Quimixtlán, Tochimilco y Atlixco (SIAP, 2021). Lo anterior motiva a los agricultores a sustituir sus cultivos o incrementar las superficies ocupadas con dicho frutal. En los estados productores del país se pretende aumentar las superficies

cultivadas con aguacate; la estimación en la producción y consumo que proyectó la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca (Sagarpa) para 2030 sería de 67.2% (Sagarpa, 2017). Por tanto, es prioritario identificar a escala regional las áreas óptimas para el establecimiento de nuevas superficies destinadas al aguacate en los estados productores a fin de ampliar su frontera agrícola de forma mesurada.

Debido a que el aguacate representa uno de los principales productos agrícolas con un aporte económico relevante, para los agricultores resulta atractiva la incorporación de plantaciones en sus parcelas o a través de la sustitución de sus cultivos actuales menos rentables. Si bien es cierto que la introducción del aguacate tiene efectos positivos como el aumento de ingresos económicos, tanto para los productores como para las regiones productoras, también ha implicado problemas ambientales como el cambio de uso del suelo de forestal a agrícola y el agravamiento de efectos negativos tales como el fomento al monocultivo, erosión de los recursos genéticos, dependencia de insumos químicos para la producción y la consecuente contaminación y degradación de los recursos.

Aunado a lo anterior, cada vez es más aceptado que la agricultura será una de las principales actividades económicas que resienta los impactos del cambio climático. Esto implica que los problemas actuales que atañen a la agricultura se acrecienten o se atenúen. Desde hace décadas ya se han abordado algunos de los impactos en esta actividad para diferentes escenarios, ya sea mediante su expresión en el comportamiento fenológico de los cultivos o de manera indirecta en el desplazamiento de la frontera agrícola.

Debido a lo señalado, este trabajo tiene como objetivo el evaluar el potencial productivo para el aguacate con base en sus requerimientos ambientales bajo un escenario actual y con cambio climático. De esta forma, se pretende proporcionar información tanto a las personas dedicadas a la investigación, como a los agricultores y tomadores de decisiones acerca de las áreas óptimas para las plantaciones de aguacate, aquellas que son potenciales (entiéndase el término potencial como esas zonas que cuentan con condiciones favorables para el aguacate, pero que no están siendo aprovechadas actualmente, o bien las que podrían ser empleadas para la apertura de nuevas plantaciones), cuáles requieren insumos externos y en las que se tendría que prestar más atención para prevenir efectos negativos producto del cambio climático.

Además, se incentiva a la reflexión del proceso de producción actual; repensar el fortalecimiento e impulso de las plantaciones de aguacate en esta entidad, pero no bajo un contexto de producción tradicional dominado por el monocultivo que promueve la priorización comercial del producto y el aumento de la frontera agrícola sin considerar el deterioro de recursos, tanto ambientales como genéticos, hacia enfoques alternativos como el agroclimático donde se realiza la valoración de la aptitud agrícola local o regional, según las disponibilidades climáticas, esto con el fin de asesorar sobre el tipo de cultivos posibles y técnicas culturales adecuadas y así encaminarse a la formulación de una estrategia agrícola idónea y sostenible.

Panorama agrícola del aguacate en Puebla

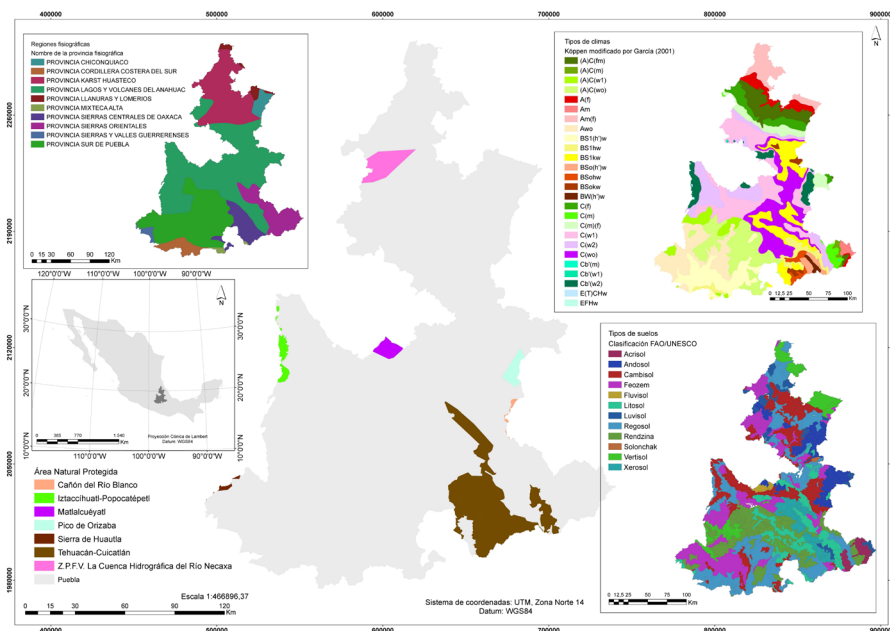
El árbol de aguacate (*Persea americana*) pertenece a la familia numerosa de las Lauráceas cuyo origen de domesticación se remite a Mesoamérica. Las principales variedades botánicas cultivadas fueron domesticadas en esta región, lo que dio como resultado una diferenciación por ecotipos; de las regiones montañosas de México surgió la variedad mexicana (*var. drymifolia*); de las tierras altas de Guatemala la variedad guatemalteca (*var. guatemalensis*); de las tierras bajas de la costa de Guatemala la variedad antillana (*var. americana* Mill.), (Jardón-Barbolla et al., 2011). Cada una posee particularidades que les permite la adaptación a variadas zonas y atributos distintivos como el tamaño, color y sabor. Como resultado de la hibridación entre estas han surgido las variedades comerciales Hass, Fuerte, Bacon, Edranol, Choquet, entre otras.

Los tipos de climas a los que la planta ha sido introducida y adaptada abarca desde cálidos, hasta templados. Los tipos de suelos que favorecen su cultivo son los andosoles y litosoles, aunque es sabido que según la variedad se puede plantar en suelos con características menos asequibles. Los requerimientos ambientales de las tres principales variedades están relativamente bien identificados; los dos factores que influyen en el crecimiento y desarrollo del aguacate son la temperatura y disponibilidad de agua.

En Puebla, entidad localizada en la parte central de México existen las condiciones climático-edáficas con potencial productivo. Su territorio está

determinado principalmente por la Sierra Madre Oriental y el Sistema Volcánico Transversal; entre sus macizos montañosos se encuentran numerosos valles y amplias llanuras categorizadas en provincias fisiográficas con diversas características edáficas, así como una gama de climas que van de los cálidos a los fríos (figura 14.1).

Figura 14.1. Localización y características físico-geográficas de área de estudio

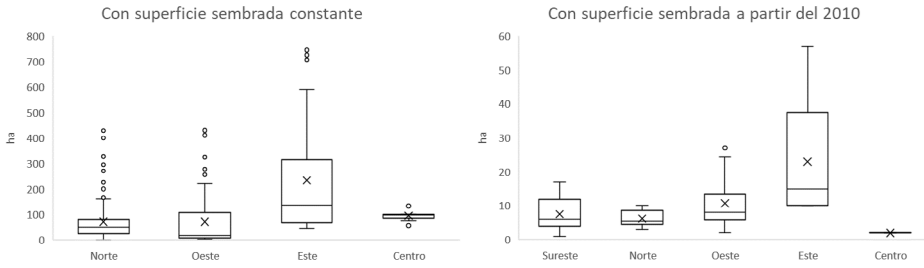


Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2017a).

El aguacate ocupa el noveno lugar por superficie sembrada en México, por debajo de cultivos como el café, naranja, alfalfa verde, caña de azúcar y manzana que superan las 100 000 ha sembradas. Sin embargo, por producción y rendimiento se encuentra alejado de los primeros sitios. A pesar de lo anterior, es el octavo producto con un valor de producción superior a los 2 000 millones de pesos, cuyo precio medio rural es aproximado a los 8 000 pesos mexicanos por hectárea, lo cual sitúa al aguacate como un frutal de venta de primera mano aceptable, pero alejado de las cifras que se obtienen por productos como la cereza, vainilla, piñón o frambuesa (SIAP, 2021). Los

municipios en la región este son los que reportan mayor superficie sembrada; en municipios al norte y oeste se registran valores atípicos que no superan las 500 ha (gráfica 14.1).

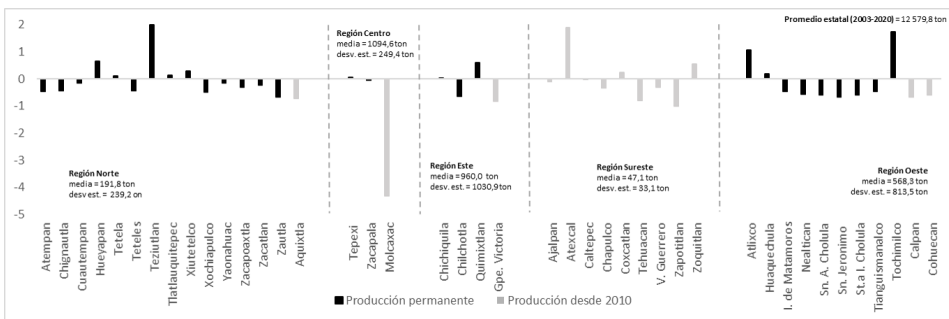
Gráfica 14.1. Superficie sembrada con aguacate en Puebla (2003-2020)



Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2021).

En promedio, los municipios más productivos se localizan al este de la entidad, seguido de los del centro, oeste, norte y sureste, sin embargo, en estas dos últimas regiones las desviaciones estándar son menores, y para el caso de la región sureste se trata de una superficie sembrada reciente, por lo tanto, también lo es su producción (gráfica 14.2).

Gráfica 14.2. Anomalías de la producción de aguacate en Puebla (2003-2020)



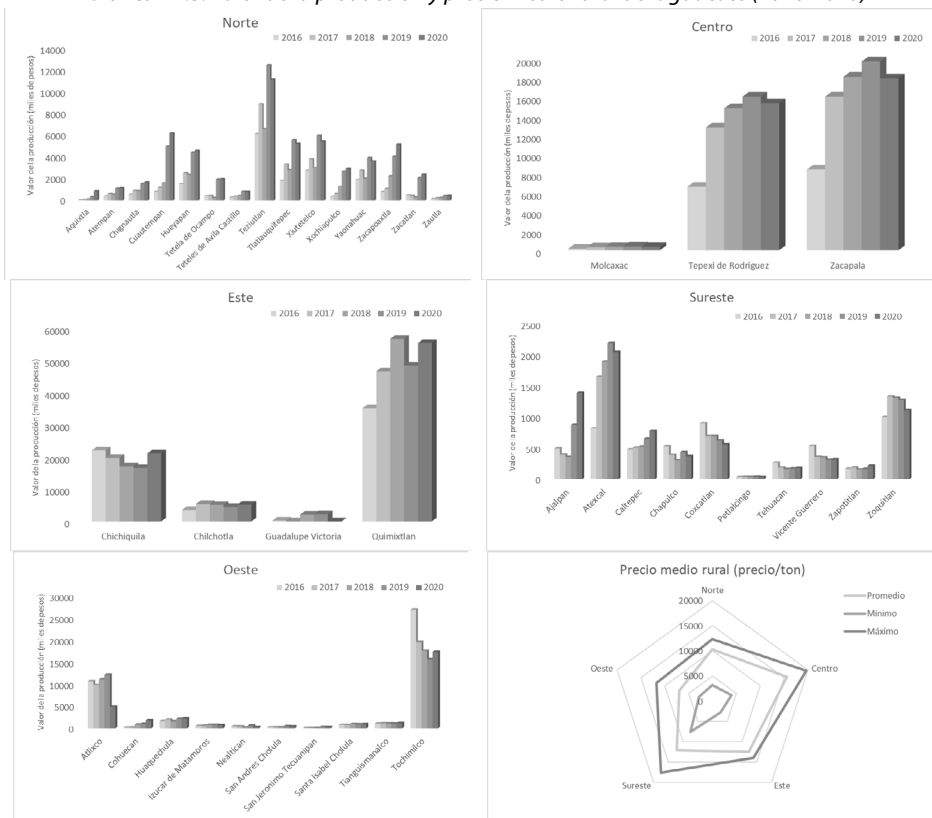
Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2021).

En Tochimilco (oeste), Quimixtlán (este), Atlixco (oeste), Tepexi (centro) y Zacapala (centro) se contribuye con más de 1 000 toneladas de

producción. Existe una correlación positiva (0.85) entre la superficie sembrada y la producción; prácticamente los municipios que aportan mayor obtención del producto suelen tener una superficie sembrada más extensa. No obstante, en los municipios del centro, oeste y sureste sobresalen en términos de rendimiento (t/ha).

En términos económicos, en los últimos cinco años la tendencia es positiva en cuanto al valor de la producción en los municipios productores. No es posible determinar una región donde en la mayoría de los municipios se alcancen valores importantes; lo que sí es evidente es que en algunos de ellos los precios son superiores a los del resto en la misma región (gráfica 14.3).

Gráfica 14.3. Valor de la producción y precio medio rural del aguacate (2016-2020)



Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2021).

En este sentido, en Quimixtlán se ha registrado el precio más alto en 2018, superior a los 50 millones de pesos mexicanos. En la región central de la entidad, en dos de los tres municipios productores, los precios alcanzados se acercan a los 20 millones de pesos; mientras que el precio que se logra en Teziutlán al norte y Atlixco y Tochimilco en el oeste es de 10 a 15 millones de pesos. En el resto de los municipios localizados en el norte, sureste y al oeste, los precios se encuentran entre los 200 000 y menos de 5 millones de pesos.

Al igual que el valor de la producción, el precio medio rural también es ascendente, el año 2014 fue cuando se alcanzó una cifra récord en promedio, llegando a los 34 000 pesos por tonelada. Con excepción de la región oeste, el promedio del precio medio rural se encuentra por encima de los 10 000 pesos; los máximos se registraron en los municipios localizados en el centro y sureste, mientras que los mínimos sucedieron en el oeste y al norte (gráfica 14.3).

En resumen, en la región norte existen superficies sembradas desde el inicio del registro de los datos oficiales (año 2003) que se han mantenido relativamente constantes hasta el 2020; sin embargo, los valores medios están por debajo en comparación con las otras regiones; a partir del 2010, dos municipios de esta región comenzaron a sembrar aguacate en no más de 10 ha; aunque la mayoría de los municipios producen por debajo de la media regional, hay casos en los que la producción supera de manera positiva a la media; no es el caso de los rendimientos, de hecho, los valores más bajos suceden en esta región, a pesar de lo anterior el valor de la producción y el precio medio rural suelen ser similares a las de las otras regiones.

En la región centro, la superficie sembrada y la producción media son los más bajos en comparación con las demás regiones, sin embargo, los rendimientos son los más altos, el valor de la producción se encuentra entre los mejores y el mayor precio medio rural se obtuvo aquí. La región este es la que mayor superficie sembrada destina al aguacate y su producción también es relevante, aunque con la mayor variación en relación con las otras zonas; los rendimientos son ligeramente superiores a los de la región norte, pero con menor variabilidad; en esta área se han logrado valores de producción y precios medios muy altos.

La región sureste tiene superficie sembrada a partir del 2010, por lo que los valores en este ámbito son menores, así como la producción obtenida y su valor, sin embargo, el precio medio rural que se ha alcanzado es similar a la región centro y está por encima de la zona este. Por último, la región oeste es la segunda en superficie sembrada y producción; los rendimientos, aunque aceptables, son más variables en comparación con las otras regiones; los valores de producción pueden llegar a ser altos, sin embargo, el precio medio rural es el más bajo en contraste con las regiones restantes.

Metodología para la zonificación de cultivos mediante evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica

En este trabajo se presenta una metodología que involucra aspectos de toma de decisiones de carácter espacial para la prospección de áreas óptimas para el establecimiento de plantaciones de aguacate. Se utilizaron criterios climáticos y edáficos para la construcción del modelo de evaluación multicriterio que se ponderaron por medio de una comparación pareada con el método proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) y posteriormente se ajustaron a funciones de valor asociadas con los rangos considerados como óptimos en el área de estudio. Toda la información se integró a un sistema de información geográfica donde se llevaron a cabo los análisis para la zonificación. Los resultados indican que los climas templados y cálidos son los ideales para cubrir las necesidades de agua y calor que requieren los árboles de aguacate.

Para identificar las áreas óptimas se emplearon variables climáticas y edáficas; estas han sido utilizadas con fines de zonificación para el aguacate (García-Lozano et al., 2013; Garrido-Ramírez et al., 2013). La metodología utilizada comprendió aspectos de la evaluación multicriterio a través del ajuste de las variables a funciones y ponderaciones efectuadas por Procesos Analíticos Jerárquicos llevados a un sistema de información geográfica con base en la metodología propuesta por Malczewski (1999) y adaptada para diversos estudios (Sotelo-Ruiz et al., 2016; González-Hernández et al., 2017; Chivasa et al., 2019).

Obtención y manejo de la información

Las temperaturas y precipitaciones mensuales en formato ráster a 900×900 m de resolución espacial se obtuvieron desde el Repositorio del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (Uniatmos, 2014a; 2014b; 2014c; 2014d; 2014e; y 2014f). La información utilizada fue sometida a un estricto control de calidad y tomó en cuenta el efecto de la topografía para la interpolación de las variables con el fin de ajustarlas a las condiciones del territorio mexicano (Fernández-Eguiarte et al., 2015); mientras que las variables de profundidad y pH del suelo se adquirieron de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2013). Para esto se emplearon métodos de interpolación mediante la distancia inversa ponderada y se utilizó la misma resolución espacial que las variables climáticas. Para representar los factores que restringen de algún modo el establecimiento de las plantaciones de aguacate se utilizó la información de uso del suelo y vegetación (INEGI, 2017b), áreas naturales protegidas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Semarnat / Conanp, 2017], tipos de suelos (INEGI, 2005) y erosión del suelo (INEGI, 2014).

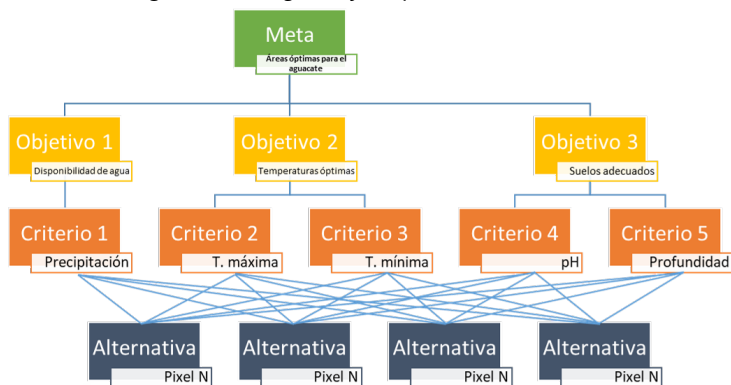
Etapas de análisis

La primera etapa consistió en la construcción de un modelo jerárquico de decisión, compuesto por una meta, objetivos, criterios y alternativas (figura 14.2). En este caso, la meta fue encontrar las zonas óptimas para las plantaciones de aguacate en Puebla. Los objetivos corresponden a que en esas áreas se logre: (a) la disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades hídricas de los árboles de aguacate sin riego; (b) temperaturas óptimas para el crecimiento y desarrollo de los árboles y frutos; (c) características de suelos adecuados para las plantaciones.

Además, con el fin de proporcionar una evaluación completa del grado en que se pueden alcanzar los objetivos son necesarios los atributos o criterios. Los criterios corresponden a los valores promedio de las variables climáticas y edáficas asociadas con la aptitud para el aguacate. Estos criterios

deben cumplir ciertas características: ser completos, operativos, no redundantes y mínimos (Pacheco y Contreras, 2008). Las alternativas de decisión son cada uno de los píxeles que conforman el área de estudio.

Figura 14.2. Diagrama jerárquico de decisión AHP



Fuente: Elaboración propia.

La importancia/peso de cada variable fue asignada mediante una comparación pareada por AHP en el software SuperDecisions® que utiliza una escala numérica que se corresponde con expresiones verbales. A partir de estas comparaciones, el *software* calcula el peso de cada variable mediante el álgebra de matrices. Para evaluar la congruencia de las comparaciones, el *software* ofrece un índice de consistencia, cuyo valor debe ser menor a 0.1. La toma de decisiones asociada con la relevancia de cada variable provino principalmente de la búsqueda bibliográfica y la consulta a seis expertos, tres investigadores, y el resto entre productores y agricultores. En consecuencia, se consideraron los siguientes criterios generales: la precipitación y temperatura mínima son los elementos climáticos más relevantes para el aguacate; el exceso o déficit hídrico repercute en el desarrollo y crecimiento vegetativo del árbol, así como la polinización, la formación de frutos y el desarrollo de enfermedades (Gardiazabal, 2004; Coria-Avalos, 2009; Gutiérrez-Contreras et al., 2010; Lucero-Pulido y Navarro-Ainza, 2013; Zapata-Guzmán et al., 2018). Mientras que las bajas temperaturas causan daños a los órganos más tiernos como flores, brotes y pequeños frutos, incluso pueden dañar permanentemente al árbol si se mantienen temperaturas por debajo de los 0°C, pero también

son necesarias para la inducción de la floración (Gutiérrez-Contreras et al., 2010; Alcantar-Rocillo y Muñoz-Flores, 2012; Romero-Sánchez, 2012; Ruiz-Corral et al., 2013; Zapata-Guzmán et al., 2018).

El aguacate es considerado como un árbol que se adapta a gran diversidad de suelos en función de la variedad, pero requiere de aquellos con buen drenaje y profundidad. Los suelos de textura media, bien drenados, con pH de 5.5 a 7.5 y profundidad mayor a 1.5 m, con contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, así como de elementos menores como magnesio, hierro y zinc, son favorables para las plantaciones (Lucero-Pulido y Navarro-Ainza, 2013). En tanto que los andosoles y luvisoles son suelos adecuados para el aguacate (Coria-Avalos, 2009; Gutiérrez-Contreras et al., 2010). El último criterio fue la temperatura máxima, si se presentan temperaturas muy altas y constantes se pueden alterar las etapas de floración y fructificación (Coria-Avalos, 2009; Gutiérrez-Contreras et al., 2010; Ruiz-Corral et al., 2013; Sarmiento-Sarmiento, 2018; Zapata-Guzmán et al., 2018). Bajo esta lógica se realizó la comparación en pares y se obtuvieron los pesos de la tabla 14.1. El valor del índice de consistencia fue de 0.049, lo que indica la congruencia de las comparaciones.

Tabla 14.1. *Matriz de comparación de los criterios de clima y suelos mediante AHP*

<i>Criterios</i>	<i>Prec.</i>	<i>T.mín</i>	<i>T.máx</i>	<i>pH</i>	<i>Prof.</i>	<i>Peso</i>
Prec.	1	2	2.89	2.93	3.02	0.37
T.mín	0.5	1	3.96	2.93	2.98	0.29
T.máx	0.35	0.25	1	0.34	0.52	0.07
pH	0.34	0.34	2.93	1	2.04	0.16
Prof.	0.49	0.34	1.91	0.49	1	0.10

Fuente: Elaboración propia.

La segunda etapa residió en el ajuste de los criterios a las funciones. De acuerdo con Malczewski (1999), los objetivos implican la maximización o minimización de una función $f(x)$, donde x es un vector de atributos o variables de decisión asociadas a un objetivo. Los rangos de idoneidad edafoclimática para el aguacate se encuentran sintetizados en la tabla 14.2 y se establecieron con base en investigaciones previas (Gardiazabal, 2004; Gandolfo, 2008; Alcantar-Rocillo, 2009; Gutiérrez-Contreras et al., 2010; Alcantar-Rocillo y Muñoz-Flores, 2012; Romero-Sánchez, 2012; Ruiz-Corral et al., 2013;

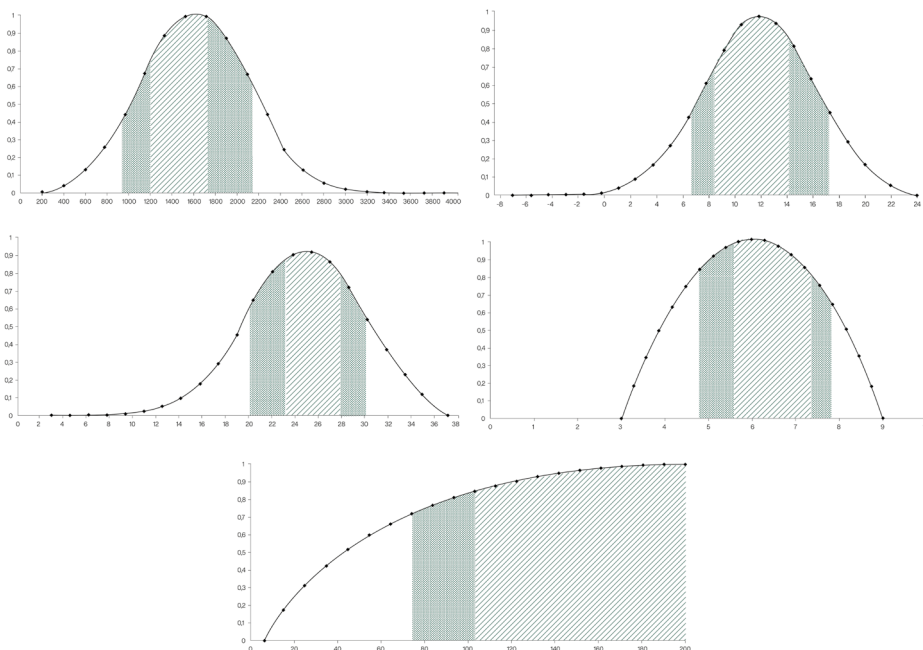
Sarmiento-Sarmiento, 2018; SIAP, 2018; Zapata-Guzmán et al., 2018). Estos rangos se emplearon para relacionar el ajuste que tendrá cada criterio en la función seleccionada asociados con los valores mínimos y máximos presentes en el área de estudio.

Tabla 14.2. Criterios para el ajuste de funciones en el área de estudio

Criterios	Requerimientos	Valores			Parámetros		
	Óptimos	Mínimos	Máximos	Xmax	α	γ	S
Prec.	1200-1800	225	3909	1600	700	NA	NA
T. mín	8-14	-7	20	12	6	NA	NA
T.máx	23-28	3	35	25	7	NA	NA
pH	5.5-7.5	3	9	6	7	NA	NA
Prof.	> 100	6	200	200	NA	0.17	4

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 14.4. Ajustes de los valores a funciones (curvas)



Fuente: Elaboración propia. Nota: De izquierda a derecha: precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima, pH y profundidad del suelo. El área con achurado en diagonal representa las condiciones óptimas, mientras que el área con achurado en puntos simboliza las condiciones medias.

Los valores de función fueron evaluados entre 0 y 1, donde 1 es el valor máximo de aptitud (véase la gráfica 14.4). Para la precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y pH la curva ajustada fue la de campana (ecuación 1) porque el comportamiento de las variables, con respecto de la aptitud, en parte es creciente y decreciente. Para la profundidad se empleó una función convexa creciente (ecuación 2), debido a que a mayor profundidad del suelo mejoran las condiciones para el aguacate.

$$v = e^{-\left(\frac{x-x_{max}}{\alpha}\right)^2} \quad (1)$$

Donde v : valor transformado del criterio; e : exponencial base e ; x : valor original del criterio (capa de entrada ráster); x_{max} : valor máximo original del criterio (capa de entrada ráster); α : amplitud de la curva.

$$v = 1 - e^{-\gamma x} \quad (2)$$

Donde v : valor transformado del criterio; e : exponencial base e ; x : valor original del criterio (capa de entrada ráster); γ : parámetro de control (ecuación 3).

$$\gamma = \frac{-\log(\log(1.1+0.88(10-S)))}{\log^2(x_{max})} \quad (3)$$

S = saturación de la curva (curvatura)

Tanto las ecuaciones y los valores del rango fueron integrados al sistema de información geográfica ArcMap10.5.1® con el fin de construir los mapas de los criterios estandarizados (ecuación 4). La fase posterior de esta etapa consistió en la combinación lineal ponderada mediante la ecuación 5, donde cada uno de los valores de los pixeles contiene una alternativa de decisión para la aptitud.

$$v' = \frac{v-v^{min}}{v^{max}-v^{min}} \quad (4)$$

Donde v' : valor estandarizado del criterio; v : valor transformado del criterio; v^{min} : valor transformado mínimo; v^{max} : valor transformado máximo.

$$a = \sum_1^i v_i' w_i \tag{5}$$

Donde *a*: valor que representa la aptitud para el aguacate; *v_i'*: valor estandarizado del criterio *i*; *w_i*: peso del criterio *i*.

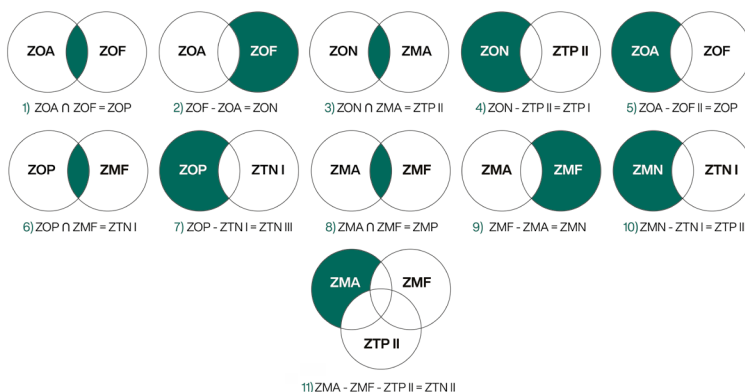
Como resultado se obtiene un mapa de aptitud con valores del 0 al 1. En este caso se seleccionaron aquellos pixeles relacionados con las condiciones óptimas (valores entre el 0.8 y 1). Posteriormente se emplearon como un polígono de máscara los criterios de restricciones para las plantaciones de aguacate (tabla 14.3). El resultado de lo anterior es el polígono de las áreas con condiciones óptimas para el aguacate en Puebla.

Tabla 14.3. Restricciones para las plantaciones de aguacate

Tipo	Descripción
Suelos desfavorables o poco favorables	Los suelos ácidos y salinos como acrisoles y solonchack, así como los que tienden a erosionarse o a la salinización como vertisoles o xerosoles. Aquellos con poca profundidad, someros o poco desarrollados o que están asociados con bajos rendimientos como fluvisoles, litosoles y rendzina (INEGI, 2004).
Uso del suelo prioritario	Conformado por todos los tipos de bosques presentes en el área de estudio, así como su correspondiente vegetación secundaria arbórea. Los polígonos de las áreas naturales protegidas (ver figura 14.1).
Uso del suelo no apto	Los cuerpos de agua y áreas urbanas.
Erosión del suelo	Grados altos y medios de erosión eólica e hídrica.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14.3. Diagrama para la identificación de áreas potenciales para el aguacate bajo un escenario actual y por cambio climático



Fuente: Elaboración propia.

La última etapa consistió en la zonificación bajo escenarios de cambio climático, por lo que se repitieron las fases anteriores sustituyendo las coberturas climáticas del escenario base con las del modelo de cambio climático. Una vez obtenidas ambas zonificaciones se realizó una serie de operaciones booleanas para la identificación de las áreas potenciales, aquellas que permanecerían, las que aumentarían su categoría y las que la disminuyen (figura 14.3).

Del anterior diagrama se desprenden las siguientes consideraciones:

- De la intersección entre las zonas óptimas actuales (ZOA) y las zonas óptimas a futuro (ZOF) se obtuvo el polígono denominado como zonas óptimas persistentes (ZOP); se tratan de áreas óptimas actuales que permanecerían sin cambios.
- De la diferencia entre las ZOF y ZOA se identificó el polígono nombrado como zonas óptimas nuevas (ZON). Estas áreas provienen de un inminente cambio de categoría favorable, ya sea de condiciones medias o bajas.
- De la intersección entre las ZON y las zonas medias actuales (ZMA) se consiguió el polígono con las zonas de transición positiva tipo II (ZTP II) que contiene las áreas actuales medias que transitaron a óptimas en el futuro.
- De la diferencia entre las ZON y las ZTP II se obtuvieron las zonas de transición positiva tipo I (ZTP I), cuyas áreas en el escenario actual tienen condiciones bajas, pero bajo el escenario de cambio climático pasan a óptimas.
- De la diferencia entre ZOA y ZOF se consiguió el polígono denominado como zonas óptimas perdidas (ZOP). Estas áreas derivan de una transición desfavorable, puesto que contienen cambios de óptimos a medios o incluso bajos.
- De la intersección entre las ZOP y las zonas medias a futuro (ZMF) se identificó el polígono con las zonas de transición negativa tipo I (ZTN I), donde las áreas con condiciones óptimas transitaron a una categoría media.
- De la diferencia entre las ZOP y las ZTN I se reconocieron las zonas de transición negativa tipo III (ZTN III). En estas áreas sucederían

los cambios más perjudiciales puesto que provienen de condiciones óptimas que a futuro serían bajas.

- De la intersección entre las ZMA y ZMF se obtuvieron las zonas medias persistentes (ZMP), es decir, las áreas medias actuales que perseverarían a futuro.
- De la diferencia entre las ZMF y las ZMA se consiguieron las zonas medias nuevas (ZMN), es decir, áreas con potencial medio a futuro que, o bien provienen de una categoría menor (baja) o viceversa.
- De la diferencia entre las ZMN y las ZTN I se identificaron las zonas de transición positiva tipo III (ZTP III), cuyas áreas provienen de condiciones bajas en el escenario actual pero a futuro pasarían a ser medias.
- Por último, de la diferencia entre las ZMA, las ZMF y las ZTP II se reconocieron las zonas de transición negativa tipo II (ZTN II), donde las áreas actuales contienen condiciones medias pero a futuro pasarían a ser bajas.

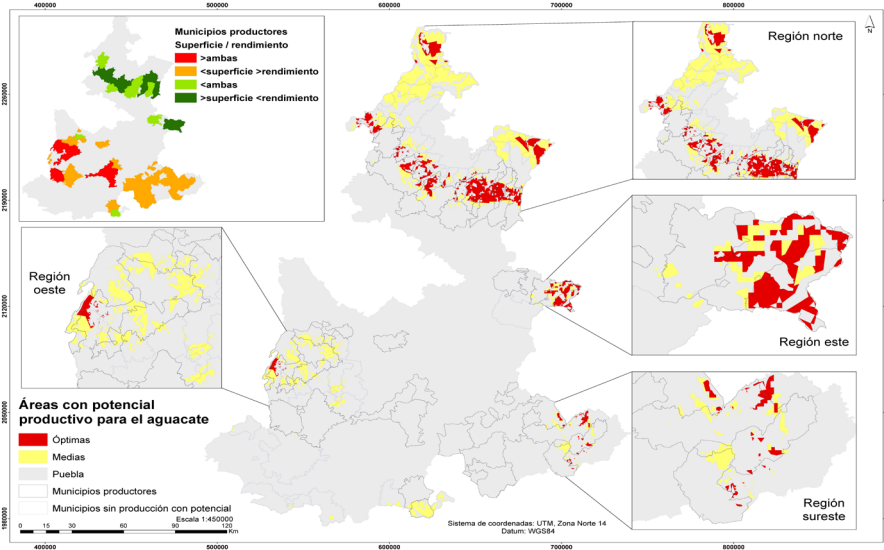
Distribución espacial de las áreas óptimas para el establecimiento de plantaciones. Replanteamientos y nuevas oportunidades

El área total de la superficie óptima para el aguacate en Puebla se aproxima a las 85 300 ha, distribuidas en cuatro regiones (figura 14.4): la principal al norte del estado con una dirección noroeste-este en la Sierra Madre Oriental, abarca las subprovincias fisiográficas Lagos y Volcanes del Anáhuac, Carso Huasteco y Chiconquiaco donde se tienen principalmente climas bajo la clasificación de Köppen modificada por García (2001) del tipo C(m)(f), C(f), (A)C(fm), A(f) y Am(f); la segunda al este, insertada en la subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac con climas (A)C(fm), C(f), C(m)(f); la tercera región se localiza al sureste en la subprovincia de las Sierras Orientales donde los climas son (A)C(m), C(m) y C(w2); y la cuarta región es la del oeste en los Lagos y Volcanes del Anáhuac donde los climas son (A)C(w1) y C(w2).

En estas mismas regiones también se encuentran zonas con condicio-

nes por debajo de las óptimas que se han evaluado aquí como medias (valores entre 0.6 y 0.79), con una superficie total de, aproximadamente, 214 000 hectáreas distribuidas, en su mayoría, al norte y oeste de Puebla.

Figura 14.4. Áreas con potencial productivo para el aguacate en Puebla



Fuente: Elaboración propia.

Del total de superficie óptima, 50 000 ha se distribuyen en municipios que producen aguacate, siendo los de la región norte y este las de mayor proporción, y el caso más extremo sucede al centro de la entidad. Las más de 35 000 ha con condiciones óptimas restantes se encuentran en municipios que no tienen registro de superficie sembrada con aguacate. En cuanto a las zonas con potencial productivo medio, 25 % de ellas se localizan en municipios que en la actualidad producen aguacate, principalmente al oeste y norte de la entidad. Una situación que resaltar es la discrepancia entre las áreas con las condiciones óptimas para las plantaciones y la relación entre la superficie sembrada y el rendimiento, según los datos promedio del 2003 al 2020 del SIAP (2021). En la figura 14.4 existe una clara diferencia; al norte y este, con valores por debajo del promedio o bien con mayor superficie, pero bajos rendimientos; y al oeste, centro, sur y sureste de la entidad con

valores por encima del promedio o baja superficie sembrada, pero altos rendimientos, tal y como se ha constatado en el apartado de panorama agrícola en Puebla.

Por un lado, municipios con valores por encima de la media en superficie/rendimiento localizados al sureste, centro y oeste de Puebla bajo el modelo de zonificación que presentan pocas áreas con condiciones óptimas y medias (las regiones del sureste y oeste). El resto de los municipios con valores por encima de la media en ambas variables o bien con datos de rendimientos altos, no tienen polígonos ni condiciones óptimas ni medias; en concreto se trata de la región centro y oeste. Lo anterior da pauta para inferir que los altos rendimientos que muestran los datos obtenidos se asociarían con el uso de insumos externos (sistemas de riego, fertilizantes, plaguicidas, etcétera), ya que municipios como Tochimilco, Tepexi, Zacapala, Atlixco, y principalmente Izúcar de Matamoros cuentan valores de producción altos, lo cual estaría relacionado con la capacidad de adquisición de dichos insumos.

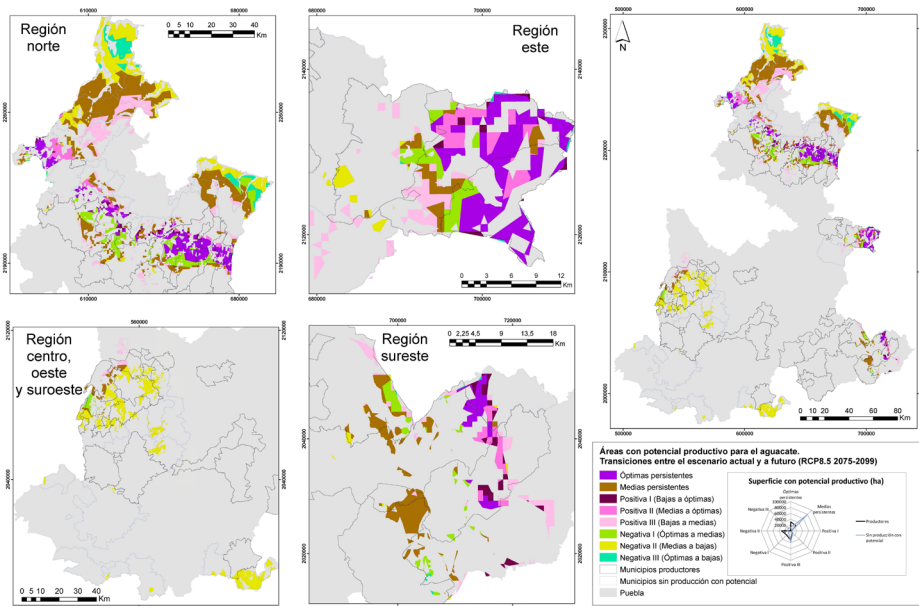
Por otra parte, el planteamiento lógico obedecería a que las áreas que contienen la mayoría de los polígonos que representan las zonas con condiciones óptimas para el aguacate coincidan con los datos favorables de superficie/rendimiento, sin embargo, los resultados señalan lo contrario. En este sentido, es probable que factores que intervienen en el rendimiento de los árboles y que no fueron considerados en el modelo, tales como la edad de las plantaciones, incidencia de plagas y enfermedades o el manejo del cultivo en general estén relacionados con los datos reportados por el SIAP como sucede principalmente al norte. En ambos casos es difícil comprobar las suposiciones planteadas debido a la ausencia de datos oficiales.

Otro aspecto para considerar son las áreas que cuentan con condiciones óptimas o medias y que no están asociadas con los datos de producción; en este sentido, dichas áreas podrían ser tomadas en cuenta como áreas potenciales para el establecimiento de nuevas plantaciones. A pesar de que existen zonas al oeste y sureste con condiciones potenciales por debajo de las óptimas, es en los municipios más septentrionales de la región norte con climas más cálidos donde se distribuyen más áreas con potencial productivo.

Perspectivas a futuro. Cambios en los patrones de distribución de las áreas con potencial productivo

De inicio se puede reconocer en la figura 14.5 que habría mayores áreas con condiciones medias; si se conjugan con las áreas medias actuales podría significar que esta sería la categoría de potencial productivo dominante en un horizonte a largo plazo en Puebla. La superficie sembrada es menor que las áreas con potencial óptimo y medio actuales y a futuro (figura 14.6). Las regiones norte, este y sureste, que bajo el escenario actual tienen superficies potenciales óptimas y medias relevantes, bajo un horizonte lejano también contarían con áreas dentro de estas categorías, mientras que en la región oeste las superficies óptimas disminuirían y en la región centro prácticamente no parece que se distribuyan áreas con potencial óptimo y medio.

Figura 14.5. Áreas con potencial productivo para el aguacate en Puebla y sus transiciones bajo el modelo ensamble MPI-ESM-LR. RCP8.5. Horizonte 2075-2099

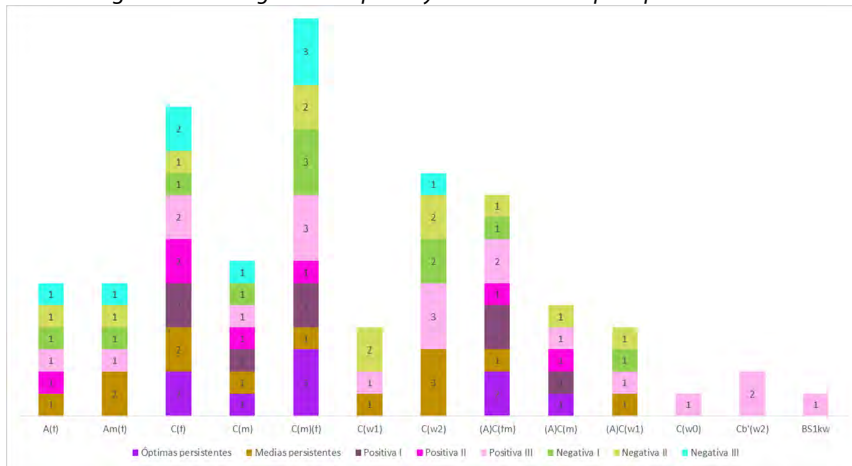


Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, las transiciones positivas tipo II ocurrirían en el clima cálido húmedo A(f) al norte de la entidad, en los tres climas templados húmedos y en los dos semicálidos húmedos del grupo de los templados. Las transiciones positivas del tipo III sucederían en prácticamente todos los grupos climáticos que tienen potencial para el aguacate, incluso en climas donde no existe potencial actual como el templado subhúmedo C(w0), semifrío subhúmedo Cb³(w2) asociado a altitudes mayores cercanas a la región de los volcanes en el oeste y al Citlaltépetl al oeste y un semiárido templado con lluvias de verano BS1kw.

En cuanto a las transiciones negativas tipo I, la más relevante sucedería en el clima C(m)(f) y en el resto de los grupos climáticos estaría presente con excepción del C(w1) y (A)C(m). Las transiciones negativas tipo II tendrían lugar en la mayoría de los grupos climáticos con potencial, con excepción del clima C(m) localizado en la región sureste. Por último, en los climas cálidos húmedos, templados húmedos y templado subhúmedo sucederían las transiciones negativas tipo III (figura 14.7).

Figura 14.7. Categorías de aptitud y sus transiciones por tipos de climas



Fuente: Elaboración propia.

Las mayores transiciones sucederían en la región norte de Puebla. Las áreas correspondientes a la franja óptima de dirección noroeste-este permanecerían; aquellas zonas que se distribuyen al norte de las áreas persis-

tentes cambiarían a condiciones favorables (de medias a óptimas); mientras que al sur de dichas zonas persistentes el patrón es distinto puesto que las áreas con condiciones óptimas transitarían a condiciones medias que, en conjunción con las áreas medias persistentes y las que cambiaron de condiciones bajas a medias, formarían una franja de aptitud media. Por otro lado, en la parte más septentrional y noreste de la región norte los cambios también serían relevantes: se conservarían las áreas con condiciones medias e incluso algunas áreas bajas transitarían a condiciones medias, sin embargo, los cambios desfavorables de condiciones óptimas a bajas y medias a bajas serían evidentes. En este caso, los municipios sin producción con potencial actual serían los menos favorecidos con esos cambios.

Para la región este no solo permanecerían las áreas actuales óptimas y medias, sino que las transiciones de medias a óptimas y bajas a medias permitirían la conexión entre los polígonos de aptitud, formando regiones potenciales reconocibles para el aguacate. Una situación parecida a lo que ocurriría en la región este se encontraría en la región sureste con presencia de corredores de aptitud, pero también áreas aisladas con diversas condiciones de potencial productivo. En las regiones centro, sur, suroeste y oeste el escenario a futuro luce menos favorable que en el resto. Por un lado, los municipios que actualmente producen aguacate localizados en el centro, bajo el escenario planteado, no tendrían áreas donde sucediera una transición positiva; en la región sur, las áreas con condiciones medias cambiarían a bajas, al igual que en el suroeste. Mientras que, en la región oeste, las condiciones a futuro pasarían a ser medias puesto que las zonas óptimas actuales transitarían a una condición menor, aunado a las áreas medias que se mantendrían y aquellas que podrían aparecer gracias a la conversión de áreas bajas a medias, formándose una franja de aptitud asociada al clima C(w2). Sin embargo, la mayor parte de las áreas medias actuales distribuidas en esta región se convertirían en condiciones bajas para el aguacate. En los municipios que actualmente producen aguacate, la mayoría de los polígonos que contienen son aquellos donde las condiciones pasan de bajas a medias, seguido del cambio de medias a bajas y las áreas óptimas persistentes. En contraste, en los municipios que no producen aguacate, pero con condiciones potenciales actuales, serían los polígonos con las condiciones medias persistentes y la conversión de bajas a medias las que predominarían.

Discusión

Se debe tener presente que en este trabajo se habla de condiciones promedio y a una escala regional. Se trata entonces de un análisis prospectivo para esta entidad que identifica las áreas óptimas para el aguacate examinando las mejores condiciones climáticas y edáficas disponibles para que la inversión en insumos sea mínima. Como se ha mencionado, la precipitación y temperatura son los elementos más relevantes para el aguacate. Una situación similar la obtuvo Campos-Campos (2012) para su zonificación: de 37 variables ambientales diez de ellas tuvieron el mayor peso, de las cuales la temperatura, suelo y precipitación explicaron más de 90 % de la variación agroecológica. En contraste, Selim et al. (2018) obtuvieron que la profundidad y la permeabilidad del suelo fueron los factores relevantes en la localización de áreas adecuadas para el aguacate, mientras que la única limitante climática considerada en su estudio fueron las temperaturas mínimas. No obstante, incluso los autores advierten que son los factores climáticos los más importantes porque estos no pueden ser modificados por los humanos. En este tenor, las repercusiones en el aguacate por alteraciones en la temperatura y precipitación, así como la modificación de las zonas productoras continúan en estudio (Tapia-Vargas et al., 2011; Álvarez-Bravo et al., 2017).

Por otra parte, la zonificación muestra que la aptitud para el aguacate se asocia con los climas templados y cálidos. Se hace notar que la mejor aptitud se encuentra en la región norte, sin embargo, es ahí donde se presentó la mayor sobreposición con lo que se denominó aquí como usos de suelo prioritario (véase la tabla 14.3) donde se restringe el cultivo. El hecho de que las necesidades ambientales requeridas por el aguacate se encuentren en los bosques templados supone un problema de uso del suelo, particularmente por la conversión de forestal a plantaciones de aguacate, tal y como lo han documentado en otras entidades (Bravo-Espinoza et al., 2009; Garibay-Orozco y Bocco-Verdinelli, 2011; Segundo-Vivanco, 2018; Ayala-Montero et al., 2021).

En el caso de Puebla, los municipios que tienen en su territorio áreas óptimas para las plantaciones y que producen aguacate actualmente como

Teziutlán, Cuautempan, Quimixtlán y Chichiquila han perdido entre 39 y 177 ha de cobertura forestal de 2001 al 2019 de acuerdo con las cifras del Global Forest Watch (2020), situación que se puede agravar si se realizan aperturas sin planificación previa.

Los resultados apuntan a que hay zonas con condiciones óptimas y medias que actualmente pueden ser aprovechadas para nuevas plantaciones; sin embargo, se tendrá que valorar la posible conversión de cultivos evitando el cambio a grandes extensiones de monocultivos o paisajes dominados por huertas de aguacate y de grandes productores; lo que puede ser más viable es limitar la superficie destinada para las plantaciones; se conoce que a mayor superficie sembrada más dependencia a paquetes tecnológicos para incrementar los rendimientos (Morales-Carrillo y Gamboa-Zatarain, 2010). En este tenor, Montiel-Aguirre et al. (2008) indican que se requiere al menos 6.72 ha para la rentabilidad del aguacate y minimizar los costos unitarios para competir en el mercado nacional y el de exportación. Con relación a lo anterior, se deberá tener en cuenta que no toda la producción tiene que estar orientada a la exportación, pues el mercado nacional, la economía regional, local e incluso el autoconsumo tienen un rol importante.

En cuanto a las áreas de aptitud bajo el escenario de cambio climático, es importante tener en cuenta que los resultados deben considerarse como aproximaciones a un escenario futuro. Los modelos del clima tienen diversas limitaciones para simular aspectos del mismo (Ortiz-Paniagua y Ortega-Gómez, 2015), por lo que su proyección a horizontes futuros lejanos conlleva un grado de incertidumbre mayor. No obstante, son herramientas útiles para la prospección orientada hacia el aprovechamiento de recursos y riesgos y en la formulación de estrategias de adaptación. En este sentido, en investigaciones como las de Álvarez et al. (2017) o Charre et al. (2019), donde se alude que los cambios en la temperatura y precipitación repercutirían en la distribución espacial del aguacate bajo escenarios de cambio climático para México, proporcionan información sobre los impactos indirectos del cambio climático.

Con base en lo anterior, en Puebla las áreas óptimas se restringirían al norte, este y sureste, y en regiones como la centro y oeste esas superficies con mejores condiciones para el aguacate se reducirían. Al respecto, se podría plantear si compensa el costo de la producción y los beneficios econó-

nicos que se obtendrían a futuro. En este aspecto, la producción de aguacate bajo condiciones medias se lleva a cabo actualmente, de hecho, los datos oficiales del SIAP indican que los municipios con mayores producciones y rendimientos se localizan al centro y oeste de Puebla, sin embargo, es probable que el costo económico se incremente. Franco-Sánchez et al., (2018) indican que tan solo el gasto en alquiler de la tierra puede alcanzar los 30 000 pesos mexicanos, el uso de tractor entre 5 000 y 8 000 pesos, el gasto en contratación de personal los primeros 3 años de la plantación es alrededor de los 10 000 pesos y, sobre todo, el uso de insumos químicos (como mínimo 30 000 pesos) ya representan un costo importante para la producción.

Por lo anterior, además del enfoque agroclimático que se ha presentado en esta investigación, se puede incentivar como rutas alternativas de producción mediante sistemas agroforestales o sostenibles (Montiel-Aguirre et al., 2008). Con la asociación de cultivos como en los sistemas agroforestales se mejora la fertilidad del suelo, se protege de la erosión, se favorece el control de plagas de manera natural y además se reduce la dependencia económica de un solo cultivo (Nataren-Velazquez et al., 2020). Todo ello con el propósito de lograr el aprovechamiento mesurado de los recursos para mitigar los impactos negativos con el mínimo de insumos externos que represente un coste económico menor y que a la vez se contribuya con la demanda de este frutal.

Conclusiones

La superficie sembrada es menor que las áreas con potencial óptimo y medio actuales y a futuro, principalmente al norte, este, sureste y oeste. En el estado de Puebla se encuentran áreas con condiciones climáticas y de suelos suficientes para incentivar y fortalecer la producción del aguacate.

En cuanto a la metodología utilizada puede robustecer a las que se han desarrollado para la zonificación de cultivos en vía de la planificación agrícola, además, puede ser comparada, complementada o fortalecida con la incorporación de otras variables o con métodos de ponderación diferentes. Con el fin de fortalecer la toma de decisiones para la planificación agrícola

en este territorio y para futuras investigaciones, recomendamos la creación de una base de datos georreferenciada para las plantaciones de aguacate en Puebla que permita el contraste de los modelos que se generen.

Referencias

- Alcantar-Rocillo, J. J., y Muñoz-Flores, H. J. (2012). Factores limitantes climáticos y altitudinales. En G. T. V. Chávez-León, *Impacto del uso de suelo forestal a huertos de aguacate* (pp. 75-80). INIFAP.
- Alcantar-Rocillo, J. J. (2009). Requerimientos agroecológicos. En V. M. Coria-Avalos (Ed.), *Tecnología para la producción de aguacate en México* (pp. 17-27). SAGARPA/INIFAP.
- Álvarez-Bravo, A., Salazar-García, S., Ruíz-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. <http://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.671>
- Arias, F., Montoya, C., y Velázquez, O. (2018). Dinámica del mercado mundial de aguacate. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (55), 22-35.
- Ayala-Montejo, D., Valdés-Velarde, E., y Romo-Lozano, J. L. (2021). Análisis y priorización de sistemas de producción asociadas al café y aguacate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(3), 525-539.
- Bravo-Espinoza, M., Sánchez-Pérez, J., Vidales-Fernández, J. A., Sáenz-Reyes, J. T., Chávez-León, J. G., Madrigal-Huendo, S., Muñoz-Flores, H., Tapia-Vargas, L. M., Orozco-Gutiérrez, G., Alcántar-Rocillo, J., Vidales-Fernández, I., y Venegas-González, E. (2009). *Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán*. INIFAP.
- Campos-Campos, O. (2012). *Zonificación agroecológica del aguacate (Persea americana Mill. var. Hass.) en la cuenca del Río Duero* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12258>
- Charre-Medellín, J. F., Mas, J. F., y Chang-Martínez, L. A. (2019). Áreas potenciales actuales y futuras de los cultivos de aguacate Hass en México utilizando el modelo Maxent en escenarios de cambio climático. *Revista UD y la Geomática*, (14), 26-33.
- Chivasa, W., Mutanga, O. y Biradar, C. (2019). Mapping land suitability for maize (*Zea mays* L.) production using GIS and AHP technique in Zimbabwe. *South African Journal of Geomatics*, 8(2), 265-281.
- Coria-Avalos, V. M. (2009). *Tecnología para la producción de aguacate en México*. SAGARPA/INIFAP.
- Fernández-Eguiarte, A., Zavala-Hidalgo, J., Romero-Centeno, R., Conde-Álvarez, A. C., y Trejo-Vázquez, R. I. (2015). *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica*. UNAM/INECC.

- Franco-Sánchez, M. A., Leos-Rodríguez, J. A., Salas-González, J. M., Acosta-Ramos, M., y García-Munguía, A. (2018). Análisis de costos y competitividad en la producción de aguacate en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 391-403.
- Gandolfo, S. P. (2008). *Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto de aguacate* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3441/tesisUPV2868.pdf>
- García, E. (2001). *Climas*. CONABIO. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/clima1mgw.html>
- García-Lozano, J., Ríos-Gallego, G., Franco, G., Sandoval-Arana, A. P., y Vásquez-Gallo, L. A. (2013). *Atlas: Zonificación de las tierras para el uso potencial del cultivo de aguacate c.v. Hass en Colombia*. CORPOICA.
- Gardiazabal, F. (29 de septiembre a 1 de octubre de 2004). *Factores agronómicos a considerar en la implantación de un huerto de paltos*. 2° Seminario internacional de paltos. Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile.
- Garibay-Orozco, C., y Bocco-Verdinelli, G. (2011). *Cambios de uso del suelo en la meseta purépecha (1976-2005)*. INECC / SEMARNAT.
- Garrido-Ramírez, E. R., Noriega-Cantú D. H., Gutiérrez-Del Valle, A., González-Mateos, R., Pereyda-Hernández, J., Domínguez-Márquez, V. M., López-Estrada, M. E., Alarcón-Cruz, N., Valentín-Benigno, A., y Leyva-Mayo, A. (2013). Áreas potenciales para el cultivo de Aguacate (*Persea americana* L.) cultivas "Hass" en el Estado de Guerrero, México. *Agroproductividad*, 6(5), 52-57.
- Global Forest Watch (27 de noviembre de 2020). *Tree cover lost in Puebla*. www.globalforestwatch.org
- González-Hernández, A., Romero-Sánchez, M. E., Pérez-Miranda, R., Zamora-Martínez, M. C., Islas-Trejo, B., y López-Espinosa, A. G. (2017). *Potencial productivo para el establecimiento de Hevea brasiliensis (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. en el trópico húmedo mexicano*. INIFAP / CENID / COMEF.
- Gutiérrez-Contreras, M., Lara-Chávez, Ma. B. N., Guillén-Andrade, H., y Chávez-Bárceñas, A. T. (2010). Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Inter ciencia*, 35(9), 647-653.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2004). *Guía para la Interpretación de Cartografía. Edafología*. INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2005). *Conjunto de datos edafológicos. Escala 1:1 000 000 serie I*. INEGI. www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267636
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2013). *Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250 000. Serie II (Continuo Nacional)*. INEGI. www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825266707
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2014). *Conjunto de Datos de Erosión del Suelo, Escala 1: 250 000 Serie I (Continuo Nacional)*. INEGI. www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825004223

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2017a). *Anuario estadístico y geográfico Puebla 2017*. INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2017b). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI*. INEGI. www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359
- Jardón-Barbolla, L. O., Alavez-Gómez, V., Méndez, A., Gaona, A., Wegier, A. L., y Piñero, D. (2011). *Cuarto informe: Análisis para la determinación de los centros de origen, domesticación y diversidad genética del género Persea y la especie Persea americana (aguacate)*. UNAM /SEMARNAT /CONABIO.
- Lucero-Pulido, M., y Navarro-Ainza, J. A. (2013). *Requerimientos agroclimáticos del cultivo de aguacate*. SAGARPA / INIFAP. http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3934/CIRNO_010209142800048868.pdf?sequence=1
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Wiley.
- 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.
- Morales-Carrillo, N., y Gamboa-Zatarain, T. (2010). El aguacate como eje de una estrategia de desarrollo regional en Nayarit. *Revista de Geografía Agrícola*, (44), 41-55.
- Nataren-Velazquez, J., Angel-Pérez, A., Megchún-García, J. V., Ramirez-Herrera, E., y Meneses-Marquez, I. (2020). Caracterización productiva del aguacate (*Persea americana*) en la zona de alta montaña Veracruz, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 6(12), 1406-1423. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v6i12.9941>
- Ortiz-Paniagua, C. F., y Ortega-Gómez, A. M. (17 al 20 de noviembre de 2015). *Agricultura y cambio climático en la región aguacatera del estado de Michoacán*. 20° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Cuernavaca, Morelos. México. AMECIDER / CRIM / UNAM.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020). *Las principales frutas tropicales. Análisis del mercado 2018*. FAO. www.fao.org/publications/card/es/c/CA5692ES/
- Pacheco, J. F., y Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*. ONU / CEPAL.
- Romero-Sánchez, M. A. (2012). *Comportamiento fisiológico del aguacate (Persea americana mill.) Variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9437>
- Ruiz-Corral, J. A., Medina-García, G., González-Acuña, I. J., Flores-López, H. E., Ramírez-Ojeda, G., Ortiz-Trejo, C., Byerly M., K. F., y Martínez-Parra, R. A. (2013). *Requerimientos Agroecológicos de Cultivos*. INIFAP. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/4515>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017). *Planeación agrícola nacional 2017-2030. Aguacate mexicano*. Sagarpa. www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf
- Sarmiento-Sarmiento, D. (21 al 23 de noviembre de 2018). *El cultivo del aguacate en el sur*

- peninsular*. Jornadas Técnicas sobre Aguacate, San Cristobal de la Laguna, Canarias. www.icia.es/icia/index.php?option=com_content&view=article&id=4577&Itemid=100284
- Segundo-Vivanco, A. (2018). *Análisis del proceso de expansión de la superficie cultivada con aguacate y su impacto en los recursos naturales del municipio de Tacámbaro, Michoacán, 1990-2016* [Tesis de maestría, El Colegio de la Frontera Norte-CICESE]. <https://www.colef.mx/posgrado/tesis/20161310/>
- Selim, S., Koc-San, D., Selim, C., y San, B. T. (2018). Site selection for avocado cultivation using GIS and multi-criteria decision analyses: Case study of Antalya, Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 450-459. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.038>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2017). *Áreas Naturales Protegidas Federales de México*. Semarnat / Conanp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018). *Atlas agroalimentario 2012-2018*. SIAP. <https://www.gob.mx/agricultura%7Cdgsiap/es/articulos/atlas-agroalimentario-2012-2018-la-transformacion-productiva-del-campo-mexicano>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. SIAP. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sotelo-Ruíz, E. D., Cruz-Bello, G. M., González-Hernández, A., y Moreno-Sánchez, F. (2016). Determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante análisis espacial multicriterio en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 401-412.
- Tapia-Vargas, L. M., Larios-Guzmán, A., Vidales-Fernández, I., Pedraza-Santos, M. E., y Barradas, V. L. (2011). Cambio climático en la zona aguacatera de Michoacán: análisis de la precipitación y temperatura a largo plazo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (21), 325-335.
- Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (2014a). *Climatología de referencia a partir de la base WorldClim Global Climadate para el periodo 1950-2000. Precipitación (mm). Resolución espacial 30" x 30"*. Unitamos. <http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/30374f42-0981-47b7-b6cd-314bef1ce7fb>
- Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (2014b). *Climatología de referencia a partir de la base WorldClim Global Climadate para el periodo 1950-2000. Temperatura máxima (°C). Resolución espacial 30" x 30"*. Unitamos. <http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/11d755e4-a11c-41d1-b1d8-2616d4e434e9>
- Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (2014c). *Climatología de referencia a partir de la base WorldClim Global Climadate para el periodo 1950-2000. Temperatura mínima (°C). Resolución espacial 30" x 30"*. Unitamos. <http://ri.atmosfera.unam.mx:8550/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/0e543362-ebb8-41ea-9573-76b4e768ecaf>
- Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (2014d). *Modelo*

- MPI-ESM-LR. RCP85. Horizonte 2075-2099. Precipitación (mm). Resolución espacial de 30" x 30".* Unitamos. <https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog/search#/metadata/15326ebc-de11-478c-b7ef-847ee88435fa>
- Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (2014e). *Modelo MPI-ESM-LR. RCP85. Horizonte 2075-2099. Temperatura máxima (°C). Resolución 30" x 30".* Unitamos. <https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog/search#/metadata/6baf7494-a311-46eb-8bb7-aa2a9bed9b80>
- Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (2014f). *Modelo MPI-ESM-LR. RCP85. Horizonte 20175-2099. Temperatura mínima (°C). Resolución espacial de 30" x 30".* Unitamos. <https://ri.atmosfera.unam.mx/aecc/srv/eng/catalog.search#/metadata/285aa20b-eeae-4b1e-873f-4fa27af5c6f0>
- Zapata-Guzmán, J. E., Tobón-Acevedo, J. D., Patiño-Tiria, H. I., Palacios, E. H., Mejía-Córdoba, C. A., Marín-Zapata, H. D., Alcaraz-Machado, C., y Alcaraz-Guzmán, E. (2018). *El cultivo de aguacate Persea americana en el occidente de Antioquia*. Servicio Nacional de Aprendizaje/Centro Tecnológico, Turístico y Agroindustrial del Occidente Antioqueño.

Sobre los autores

Pablo Alberto Torres Lima

Es doctor en Antropología por la University of Florida, maestro en Desarrollo Rural por la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco (UAM-X), cuenta con otra maestría en Agricultura Sustentable por la University of Maine, y es ingeniero Agrónomo por la UAM-X.

Sus áreas de interés son: desarrollo regional sustentable, diseño ambiental, articulación de espacios y poblaciones rurales y urbanas, agroecología, sistemas agrícolas y metodologías de investigación. Es profesor de tiempo completo en el Departamento de Producción Agrícola y Animal de la UAM-X (1981-presente). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) desde 1990 (CVU 10 153), actualmente es investigador nacional nivel II. Sus publicaciones recientes son:

Torres Lima, P., y Madrigal-Gómez, J. (2024). Assessment of peri-urban dynamics and agricultural traditionality in a mega-city by using a hybrid geospatial model. A case study in Mexico. En M. Sahana (Ed.), *Remote Sensing and GIS in Peri-Urban Research. Perspectives on Global Change, Sustainability and Resilience* (Modern Cartography Series, vol. 11, pp. 663-685). <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15832-2.00029-0>

Torres-Lima, P., Cedeño-Valdiviezo, A., Cruz-Castillo, J. G., Guevara-Ramos, R., y Almanza-Rodríguez, K. (2025). Peri-urban social-ecological systems and adaptive governance. The case of Milpa Alta, Mexico City. *Revista De Gestão - RGSA*, 19(3), e011604. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n3-046>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5253-8580>

ID' Scopus: 15823091300

Academia: <https://uam-xochimilco.academia.edu/PabloTorres>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?user=Tc1xNG4AAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Torres-Lima?ev=hdr_xprf

Juan Guillermo Cruz Castillo

Doctor en Ciencias Hortícolas por la Universidad de Massey (Nueva Zelanda); maestro en Ciencias Hortícolas por la Univesidad de Puerto Rico. Tiene una especialidad en Asistencia Técnica de Frutales Perennifolios por la Escuela Nacional de Fruticultura (México), y es Ingeniero Agrónomo egresado de la UAM-X. Es miembro del SNII, nivel III.

Su área de investigación es la horticultura y principalmente ha trabajado con frutales nativos y algunos introducidos. Es profesor investigador de la Universidad Autónoma Chapingo. Sus publicaciones más recientes son los artículos:

Reina García, J. D., Cruz Castillo, J. G., Almaguer Vargas, G., Guerra Ramírez, D., y Castañeda Vildózola, Á. (2025). Gibberellic acid and warm incubation temperatures as germination stimulants in yellow kiwifruit seeds (*Actinidia chinensis* var. *chinensis*). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 78(2), 11069-11076.

Peña-Ortega, M. G., Castillo-Gil, M. J., Martínez-Solís, J., Cruz Morillo-Coronado, A., y Cruz-Castillo, J. G. (2025). Caracterización molecular de *Zantedeschia aethiopica* mediante marcadores ISSR en México. *Journal of Agriculture of the Univesity of Puerto Rico* 109(1),15-33.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8687-6235>

Luis Ángel Barrera Guzmán

Doctor en Ciencias en Horticultura; Maestro en Ciencias en Biotecnología Agrícola e Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia. Su formación académica a nivel de licenciatura y posgrados la realizó en la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente es miembro del SNII, en el nivel de Candidato a Investigador Nacio-

nal. Es integrante de la Red de Chayote del Subcomité de Recursos Agrícolas por parte del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

Sus principales líneas de investigación son mejoramiento genético, biología molecular, filogenética, bioinformática y manejo de los recursos fitogenéticos. Sus últimas dos publicaciones son:

Barrera Guzmán, L. A., Mojica Zarate, H. T., Cadena Íñiguez, J., Cisneros Solano, V. M., Tinoco Rueda, J. Á., y Castillo Cruz, J. G. (2025). Ethnobotany of *Sechium edule* (Jacq.) Sw.: from ancestral practices to scientific innovation. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 19(1), 1-24

Cadena-Iñiguez, J., Barrera-Guzmán, L. A., Cisneros-Solano, V. M., Avendaño-Arrazate, C. H., Arévalo-Galarza, M. de L. C., Watanabe, K. N. y Cadena-Zamudio, J. D. (2024). Analysis of passport data of *Sechium* spp. from the Mexican chayote genebank in Huatusco, Veracruz. *Genetic Resources*, 5(10), 126-138. <https://doi.org/10.46265/genresj.NYFM1739>.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8057-2583>

ID' Scopus: 57217356030

Academia: https://www.academia.edu/?from_navbar=true&trigger=nav

Google Académico: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=YyPUa-M8AAAAJ&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Luis-Barrera-Guzman>

María Elena Galindo Tovar

Doctora en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por la Universidad Autónoma del Estado de México; maestra en Ciencias Vegetales con enfoque en Nutrición Vegetal por la Universidad de California-Riverside y licenciada en Química Agrícola por la Universidad Veracruzana. Profesora Decana (2015), Coordinadora de la Maestría en Horticultura Tropical por 12 años. Actualmente se desempeña como docente de tiempo completo en la Universidad Veracruzana, impartiendo clases en las licenciaturas de Biología e Ingeniería Agrónoma, en la maestría de Horticultura Tropical y en el doctorado en Ciencias Agropecuarias; es integrante del núcleo académico de estos dos últimos, además de participar en el diseño del Plan de estudios del doctorado en Ciencias Agropecuarias y desarrollo de programas de estudio para las experiencias educativas que imparte. Es integrante del Cuerpo Académico Consolidado en Horticultura Tropical (UV-CA-32) con la Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC) de Biotecnología

vegetal, productividad, sanidad, inocuidad y economía agropecuaria aplicada a cultivos de importancia económica de la región.

Su área de investigación se enfoca en estudios de diversidad, domesticación y origen de especies vegetales, sobre lo que ha publicado artículos en revistas indexadas, revistas de divulgación científica, capítulos de libro, entre otros. Es miembro del SNI, nivel I. Cuenta con Perfil Deseable y Programa de Estímulos para el desarrollo del Personal Académico de la Universidad Veracruzana. Su publicación más reciente es:

Delices, G., Mota Vargas, C., Serna-Lagunes, R., Andrés-Meza, P., Núñez-Pastrana, R., Galindo Tovar, M. E., Herrera Corredor, J. A., Murguía-González, J. y Leyva-Ovalle, O. R. (2024). Assessment of genetic diversity of *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* in Veracruz, México. *Acta Biológica Colombiana*, 29(3), 142-149.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5296-6996>

Google Académico: https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=wUI89eEAAAAJ&view_op=list_works&sortby=pubdate

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Maria-Galindo-6>

Humberto Mata Alejandro

Doctor en Ciencias Agropecuarias por la Universidad Veracruzana (México), con posdoctorado en Indicadores de sustentabilidad por el Tecnológico de Boca del Río (México). Obtuvo la maestría en Horticultura Tropical y la licenciatura en Agronomía por la Universidad Veracruzana. Se ha desempeñado como docente de diversas asignaturas en la licenciatura de Agronomía y en el posgrado de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana. En la actualidad es profesor investigador en la misma institución. Es miembro del SNI, nivel I y coordinador nacional de la Red de la Uva Silvestre en México por parte del Subcomité de Recursos Genéticos y Agrícolas del Servicio Nacional de Inspección de Semillas de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural en México, a la vez forma parte de La Ciencia en Corto Mx, organismo de divulgación e impulso a las vocaciones científicas.

Cuenta con 14 publicaciones como autor y coautor de artículos científicos y capítulos de libros enfocados a los frutos nativos y la citricultura en México, las más recientes son:

Rodríguez Deméneghi, M. V., García Merino, G. F., Armas Silva, A. A., Mata Alejandro, H., y Aguilar Rivera, N. (2024). Diagnóstico de la comercialización de la gardenia (*Gardenia jasminoides* J.Ellis) en Veracruz, México. *Revista Perspectiva Empresarial*, 10(2), 83-98. <https://doi.org/10.16967/23898186.849>

García-Merino, G. F., Ramírez Mosqueda, M. A., Mata-Alejandro, H., López-Larios, A. V., y López-Aguilar, D. R. (2024). Conservación *in vitro* de *Notylia barkeri* Lindl: Rescate de *Notylia barkeri*. *Revista Biociencias*, 11. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1633>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9381-9159>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?user=i6wgcCIAAAA-J&hl=es&oi=sra>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Mata-Alejandro-Humberto/research>

Joaquín Murguía González

Doctor en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales por el Colegio de Postgraduados, maestro en Ciencias en Fitopatología por el Colegio de Postgraduados e Ingeniero Agrónomo por la Universidad Veracruzana; realizó una estancia doctoral en la Università Degli Studi di Firenze, Italia (2002). Es fundador de los programas académicos del doctorado en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Veracruzana, del cual fue coordinador del 2014 al 2023 y de la maestría en Horticultura Tropical del 2006 al 2009. Es profesor de tiempo completo en los programas de Agronomía, en la maestría y el doctorado de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Región Orizaba, Córdoba. Cuenta con la distinción de profesor decano de la Universidad Veracruzana en 2013. Miembro del SNI, nivel I del 2004 al 2029 y profesor con Perfil Deseable (PRODEP) desde 2003.

Su orientación de investigación y enseñanza es productividad, fitosanidad e inocuidad de hortalizas, frutales y ornamentales. Entre sus artículos en colaboración más recientes están:

Soto-Contreras, A., Caamal-Chan, M. G., Ramírez-Mosqueda, M. A., Murguía-González, J., y Núñez-Pastrana, R. (2024). Morphological and molecular identification of *Phytophthora capsici* isolates with differential pathogenicity in *Sechium edule*. *Plants MDPI*, 13(12), 1602. <https://doi.org/10.3390/plants13121602>

Amaro-Espejo, I. A., Castañeda-Chávez, M. D. R., Murguía-González, J., Langgo-Reynoso, F., Bañuelos-Hernández, K. P., Galindo-Tovar, M. E., y Fernández-Martínez, A. M. (2023). Absorption and translocation capacity of cadmium in papaya (*Carica papaya* L.) plants with addition of organic mater. *Journal of Agricultural Science*, 15(3), 29-41. <https://doi.org/10.5539/jas.v15n3p29>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5087-4943>

ID' Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=23985610400>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=nJmO-zOAAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: www.researchgate.net/profile/Joaquin-Murguia-Gonzalez-2

Héctor Tecumshé Mojica Zárate

Profesor investigador de tiempo completo, adscrito al Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma Chapingo. Es miembro del SNIJ, nivel candidato. Fue profesor de tiempo completo de la Universidad de la Sierra en Moctezuma, Sonora, desde el año 2004. Egresado del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, maestro en Administración Integral del Ambiente por El Colegio de la Frontera Norte-Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (COLEF-CICESE). Especialista en Cuenca Hidrológicas por El Colegio de Sonora y doctor en Ciencias Técnicas por La Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

Su línea de investigación es Gestión Estratégica Integrada de los Recursos Naturales con enfoque en Sistemas Complejos Adaptativos e Interdisciplinariedad. Participante en la formación de capital humano académico y científico, en la vinculación con la comunidad local, ganaderos, productores diversos, usuarios de los recursos naturales en los nodos agroproductivos. Colaborador en redes con otras instituciones nacionales como la Universidad de Guanajuato, e internacionales, tal es el caso de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), el Ministerio de Agricultura, y el de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), así como con el Centro de Estudios y Servicios Ambientales (CESAM), todos ellos de Cuba. Participante predoctoral en el International Center for Development and Decent Work (ICDD), Kassel, Alemania, ponente en simposios en Turquía y en Basel, Suiza. Instructor en cursos, talleres, agente activo promotor de estadías profesionales y convenios interinstitu-

cionales para el intercambio de profesores e investigadores para el desarrollo de la ciencia. La formación académica, la vinculación y el servicio a la comunidad local son aspectos prioritarios de su quehacer en este ámbito formador. Es evaluador para el PRODEP y evaluador de cultivos orgánicos ante instancias internacionales. Tiene vínculo con productores locales introduciendo la uva como una alternativa al cambio climático en zonas aledañas a Huatusco, México.

Entre sus publicaciones destacan:

Martínez Hernández, A., Rodríguez de la O, J. L., Cruz-Castillo, J. G., Masco-rro-Gallardo, J. O., Juárez-Hernández, M. de J., Barrera-Guzmán, L. Á., y Mó-jica-Zárate, H. T. (2024). Micropropagación y fitopatología de la cala (*Zante-deschia* spp.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 18(2), 1-10.

Barrera-Guzmán, L. Á., Mojica-Zárate, H. T., Cadena-Iñiguez, J., Cisneros-Solano, V. M., Tinoco-Rueda, J. Á., y Castillo-Cruz, J. G. (2025). Ethnobotany of *Sechium edule* (Jacq.) Sw.: from ancestral practices to scientific innovation. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 19(1), 1-124.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9067-3983>

Google Académico: https://scholar.google.com/scholar?start=20&q=MOJICA+Z%C3%81RATE&hl=es&as_sdt=0,5

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Hector-Tecumshe-Mojica-Zarate?ev=hdr_xprf

Helber Enrique Balaguera-López

Ingeniero agrónomo, con maestría y doctorado en fisiología vegetal por la Universidad Nacional de Colombia. Se ha dedicado por cerca de 15 años a la investigación y la docencia universitaria. Sus investigaciones están enfocadas en la fisiología de especies cultivables, principalmente frutales de clima frío (por ejemplo, uchuva, lulo, durazno, ciruelo, aguacate Hass, arándanos, entre otros), tanto en cultivo como en poscosecha. Ha dedicado parte de sus esfuerzos a caracterizar el comportamiento fisiológico y bioquímico de los frutos en poscosecha, y a la evaluación de diferentes estrategias de conservación, dentro de ellas, principalmente, la refrigeración y el uso del 1-metilciclopropeno (importante retardante de madurez). También cuenta con trabajos relacionados con el entendimiento del rol del etileno en la maduración de diferentes frutos, principalmente, climatéricos. Estos avances tienen como objetivo lograr la disminución de las pérdidas cuantitativas y cualitativas en poscosecha y generar valor agregado a los productos perecederos. Sus

trabajos corresponden al trabajo mancomunado de un número importante de estudiantes de pregrado, maestría y doctorado, y al trabajo conjunto con profesores de diferentes áreas. La mayoría de los trabajos han sido publicados en revistas nacionales e internacionales, varias de ellas de alto impacto, que permiten divulgar los principales hallazgos en el mundo. Algunas de sus publicaciones son:

Fischer, G., Parra-Coronado, A., y Balaguera-López, H. E. (2022). Altitude as a determinant of fruit quality with emphasis on the Andean tropics of Colombia. A review. *Agronomía Colombiana*, 40(2), 212-227.

Ochoa-Vargas, L. M., Balaguera-López, H. E., Ardila-Roa, G., Pinzón-Sandoval, E. H., y Álvarez-Herrera, J. G. (2016). Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam) en el municipio de San Antonio del Tequendamá (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 347-359.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3133-0355>

Google Scholar: <https://scholar.google.es/citations?user=oa9rs4oAAAA-J&hl=es>

ID's SCOPUS: 57208339001

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Helber-Balaguera-Lopez>

Stanislav Magnitskiy

Fisiólogo vegetal que trabaja en el Departamento de Agronomía de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), en Bogotá, Colombia, como profesor titular. En su labor docente orienta las materias de nutrición vegetal mineral y propagación de plantas. Obtuvo su pregrado en Ciencias del Suelo por la Universidad Estatal de San Petersburgo y posteriormente obtuvo una maestría en Ciencias del Suelo en el área de Agronomía por la misma universidad. Se graduó con un doctorado en Horticultura en la Universidad Estatal de Ohio. Su campo de investigación incluye nutrición mineral de plantas, propagación de plantas, ecofisiología de especies andinas nativas promisorias y no domesticadas. Entre sus publicaciones se encuentran:

Fischer, G., Casierra-Posada, F., y Magnitskiy, S. (2024). Sustainable Production of Some Fruit Species in the Tropical Highlands of Colombia, South America. En W. Abobatta y W. Hussain (Eds.), *Achieving Food Security Through Sustainable Agriculture* (pp. 317-339). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4240-4.ch013>

Gutiérrez Villamil, D. A., Magnitskiy, S., y Balaguera-López, H. E. (2024). Physiological and molecular functions of brassinosteroids during fruit development, ripening, and postharvest damage of horticultural products: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 214, 112984. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112984>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3715-1932>

ID's SCOPUS: 12240993000

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Stanislav-Magnitskiy>

Joaquín Guillermo Ramírez Gil

Profesor asistente de la Facultad de Ciencias Agrarias, sede Bogotá, de la Universidad Nacional de Colombia. Su área de trabajo se relaciona con la biomodelación, los sistemas de información geográfica, la fito-epidemiología, la ciencia de datos y la inteligencia artificial para el diseño de estrategias sostenibles de manejo y el análisis de poblaciones bajo entornos de variabilidad y el cambio climático en sistemas agrícolas a distintas escalas de tiempo-espacio como base para la toma de decisiones basada en evidencia, y el uso y adaptación de nuevas tecnologías en el sector agro. Entre sus publicaciones se encuentran:

Ramírez-Gil, J. G., Henao-Rojas, J. C., y Morales-Osorio, J. G. (2021). Postharvest diseases and disorders in avocado cv. Hass and their relationship to preharvest management practices. *Heliyon*, 7(1), e05905. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05905>

González-Concha, L. F., Ramírez-Gil, J. G., García-Estrada, y R. S., Rebollar-Alviter, Á., y Tovar-Pedraza, J. M. (2021). Spatiotemporal Analyses of Tomato Brown Rugose Fruit Virus in Commercial Tomato Greenhouses. *Agronomy*, 11(7), 1268. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071268>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0162-3598>

Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=5azUJSkAAAA-J&hl=en>

ID's SCOPUS: 57191535996

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Joaquin-Guillermo-Gil-2>

Gerhard Fischer

Ingeniero Hortícola de la Fachhochschule Wiesbaden, M.Sc. y Ph.D. en Ciencias Agrarias por la Universidad Técnica de Berlín y la Universidad Humboldt de Ber-

lín, Alemania. Después de trabajar en la Asociación de empresas hortícolas del estado de Hessen y como asistente científico en la Universidad Técnica de Berlín, se trasladó a Colombia para ser profesor en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en Tunja y después, por 22 años, fue profesor en la Universidad Nacional de Colombia, en Bogotá, en las áreas de fisiología y producción de frutales en pre y posgrado. Cuenta con experiencia especial en frutales de clima frío, ecofisiología y fisiología de cultivos, con especial énfasis en uchuva. Con gran experiencia en la edición de revistas y libros y, asimismo, con un buen número de publicaciones, entre las que se cuentan:

Fischer, G., Ramírez, F., y Casierra-Posada, F. (2016). Aspectos de la ecofisiología de los frutales en los tiempos del cambio climático. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 34(2), 190-199.

Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 1-15
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8101-0507>

Google Scholar: <https://scholar.google.es/citations?user=re7bwWsAAAA-J&hl=es&oi=sra>

ID's SCOPUS: 55752189400

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Gerhard-Fischer-2>

Laura Alejandra Valbuena-Gaona

Ingeniera Agrónoma por la Universidad Nacional de Colombia. Ha participado en eventos nacionales e internacionales asociados a la fitopatología, las ciencias hortícolas, y la variabilidad y el cambio climático. Sus trabajos se centran en la integración de la ciencia de datos y la inteligencia artificial en diversas áreas donde se resaltan la fito-epidemiología, el procesamiento de lenguaje natural, la calidad de frutos poscosecha, y el análisis de la influencia de la variabilidad y el cambio climático sobre sistemas agrícolas y poblaciones.

García-León, E., Tovar-Pedraza, J. M., Valbuena Gaona, L. A., y Aguilar Pérez, V. H. (2024). Identification of the causal agent of Guar leaf blight and development of a semi-automated method to quantify disease severity. *Tropical Plant Pathology*, 49(6), 825-837. <https://doi.org/10.1007/s40858-024-00676-y>

Valbuena-Gaona, M. P., y Valbuena-Gaona, L. A. (2023). Machine Learning for Rice (*Oryza sativa* L.) Phenological Identification. En J. C. Figueroa-García,

G. Hernández, J. L. Villa Ramírez y E. E. Gaona García (Eds.), *Applied Computer Sciences in Engineering* (pp. 163-172). Springer.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5323-8760>

Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=D8hiJR-MAAAAJ>

ID's SCOPUS: 59327959800

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Laura-Valbuena-Gaona?e-v=hdr_xprf

María Isabel Munera-López

Ingeniera Agrónoma por la Universidad Nacional de Colombia, Especialista en Gerencia de Mercadeo por ESUMER y MBA POREUNCET Business School, centro adscrito a la Universidad Politécnica de Cataluña. Es consultora técnica agrícola, gestora de proyectos y facilitadora en procesos de fortalecimiento de cadenas agroindustriales. Ha liderado procesos estratégicos con entidades como Analdex, CBI, IPD, USAID, Embajada de los Países Bajos, ICA y el Ministerio de Agricultura, centrandó su trabajo en buenas prácticas agrícolas, acceso a mercados internacionales, certificación Global G.A.P., sostenibilidad, trazabilidad e inocuidad alimentaria. Sus principales líneas de investigación son: admisibilidad de productos agrícolas a mercados internacionales, formulación y dirección de proyectos agroindustriales, y fortalecimiento de capacidades técnicas en horticultura, frutas y flores. Publicaciones recientes:

López, M. I., Cardona Valencia, J., y Maya Bedoya, M. (2024). Eficacia de CALCI-BOR SYS y ARES 400 en la nutrición foliar del crisantemo: resultados en la variedad Atlantis White. *Metroflor-agro*, (123), 68-70.

Cardona, J., y López, M. I. (2024). Evaluación de la eficacia de Silixol en bancos de enraizamiento de crisantemo en la finca Flores Silvestres: un enfoque científico con visión comercial. *Metroflor-agro*, (120), 28-31.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5440-3242>

Jorge Andrés Agustín

Doctor en Ciencias en Horticultura por la Universidad Autónoma Chapingo (México). Obtuvo el título de maestro en Ciencias en Fruticultura por el Colegio de Postgraduados y la licenciatura como Ingeniero Agrónomo especialista en Fito-tecnia por la Universidad Autónoma Chapingo. Ha sido profesor investigador de

la Universidad Autónoma Chapingo en el Centro Regional Universitario Centro-Occidente (CRUO) de Morelia, Michoacán. Es profesor de la carrera de Ingeniería en Agricultura Sostenible (IAS) impartiendo diversos cursos relacionados con la horticultura en el CRUO, así como profesor de Análisis Regional en la maestría en Desarrollo Rural Regional en el mismo centro.

Su línea de investigación es recursos fitogenéticos y tecnología frutícola sostenible de frutales nativos con énfasis en especies de la familia Annonaceae con publicaciones de diversos artículos científicos. Ha participado en diversos congresos nacionales e internacionales, así como reuniones científicas y simposios. También ha participado en actividades de vinculación y capacitación y asesoría técnica a productores frutícolas en varias partes del país. Ha publicado folletos y videos técnicos y capítulos de libros sobre tópicos de la fruticultura. Entre sus publicaciones se encuentran:

Rodríguez-Núñez, J. R., Campos-Rojas, E., Andrés-Agustín, J., Alía-Tejagal, I., Ortega-Acosta, S. A., Peña-Caballero, V., Madera-Santana, T. J., y Núñez-Colín, C. A. (2021). Distribution, eco-climatic characterisation, and potential growing regions of *Annona cherimola* Mill. (Annonaceae) in Mexico. *Ethnobiology and Conservation*, 10(05), 1-13. <https://doi.org/10.15451/ec2020-10-10.05-1-17>

Andrés-Agustín, J., Soto, M., Famiani, F., y Cruz-Castillo, J. G. (2017). In Situ Characterization of Fruits and Seeds of a Number of White Sapote (*Casimiroa edulis* Llave & Lex.) Accessions in Mexico. *HortScience*, 52(12), 1849-1852. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12432-17>

ORCID: (<https://orcid.org/0000-0002-6735-1214>).

Luis Ladislao Vázquez

Doctor en Ciencias por la Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, y graduado de Ingeniero Agrónomo en la Universidad Nacional Agraria de La Habana, Cuba. Se jubiló en 2014 como investigador titular del Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (Inisav) en La Habana. Desde hace 10 años es consultor de Agroecología en proyectos de desarrollo local, facilitados por organizaciones de la sociedad civil en Cuba. Pertenece a la Asociación Cubana de Técnicos Agrónomos y Forestales (ACTAF) y a la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (Socla). Es investigador invitado del Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas (Celia).

Sus principales líneas de investigación han sido: sistemas alimentarios sostenibles, resiliencia de la producción agropecuaria ante el cambio climático, biodiversidad funcional en el diseño de agroecosistemas, manejo agroecológico de plagas. Tiene 162 artículos científicos y técnicos publicados. Es autor de varios libros sobre manejo agroecológico de plagas. Entre sus publicaciones se encuentran:

Funes Aguilar, F., Vázquez, L. L., y Febles González, J. M. (2018). *Avances de la Agroecología en Cuba*.

(2009). Participación de agricultores innovadores en la adopción de programas de manejo agroecológico de plagas en sistemas agrícolas de Cuba. *Revista Brasileña de Agroecología*, 4(2), 2153-2157.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5085-0132>

María Del Refugio Castañeda Chávez

Doctora en Ciencia y Tecnología Ambiental por el centro CONAHCYT CIMAV (México) y la Université de Bretagne Occidentale-Brest (Francia). Maestra en Ingeniería Ambiental por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana (México). Jefe del Laboratorio de Investigación y Recursos Acuáticos (LIRA); profesora del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río de tiempo completo titular C, adscrita al Departamento Ciencias de la Tierra.

Realiza investigaciones en biotecnología ambiental con énfasis en contaminantes emergentes en el agroecosistema. Es miembro del Cuerpo Académico Consolidado. Es responsable del eje estratégico agua potable de la Agenda Estratégica Nacional Agua Limpia y Saneamiento del TecNM. Ha dirigido y codirigido 15 tesis de licenciatura, 90 de maestría, 20 de doctorado. Su productividad incluye 230 artículos en revistas JCR e ISI, cuatro libros, 26 capítulos en libros especializados y en memorias de eventos internacionales. Sus publicaciones recientes son: Pérez-Vázquez, A., Fernández-Peña, M. de L., Castañeda-Chávez, M. del R., y Díaz-Rivera, P. (2024). Glifosato: riesgo o amenaza para la salud humana y la vida silvestre. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(5), e3342. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i5.3342>

Megchun García, J. V., Castañeda Chávez, M. del R., Rodríguez Lagunes, D. A., y Amaro Espejo, I. A. (2024). Thiamethoxam Residuality in Papaya Plant and Fruit (*Carica papaya* Linnaeus) Cultivated in Rotation with Watermelon (*Citrullus lanatus*). *Enfoque UTE*, 15(3), 18-24. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.1037>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9209-0431>

ID' Scopus: Scopus Author ID: 9734963700

Academia: <https://itboc.academia.edu/Mar%C3%ADadelRefugioCasta%C3%B1edaCh%C3%A1vez>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=75lZ-SoUAAAAJ>

Ismael Quiroz Guerrero

Doctor y maestro en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales por el Colegio de Posgraduados y licenciado en Biología por la Universidad Veracruzana. Profesor titular en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana, en donde imparte cátedra en la licenciatura de Ingeniería Agrónoma, en la maestría en Horticultura tropical y en el doctorado en Ciencias Agropecuarias.

La línea de investigación que desarrolla se centra en resiliencia al cambio climático y fenómenos complejos en agroecosistemas y sistemas socioecológicos. Actualmente, es miembro del SNI y de la Estrategia Nacional para la conservación y uso sustentable de los polinizadores (ENCUSP), así como del cuerpo académico UV-31 Manejo, aprovechamiento y conservación de recursos naturales. Entre sus publicaciones se encuentran:

Quiroz Guerrero, I., Pérez-Vázquez, A. , Landeros Sánchez, C., Gallardo López, F., Velasco Velasco, J., y Benítez Badillo, G. (2024). Resilience capacity of the coffee agroecosystems in Tezonapa, Veracruz Mexico. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), 55146. <https://doi.org/10.15517/am.2024.55146>

Quiroz Guerrero, I., Sánchez, M. de J., y Domínguez Meléndez, V. (2024). Cambio climático y salud pública: calor, lluvia e infecciones. *La Ciencia y el Hombre*, 37(3), 12-14.

Benítez, G., Estrada-Contreras, I., Lascrain-Rangel, M., Gómez-Díaz, J. A., Falfán, I., Quiroz-Guerrero, I., y Equihua, M (2024). Potential distribution of wild edible fruit trees under climate change scenarios: promoting food security in a neotropical región. *Regional Environmental Change*, 24(75). <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02231-6>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4687-3221>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?user=5GpacA8AAAA-J&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Ismael-Guerrero-2/research>

Tania Romero-Figueiras

Investigadora y docente especializada en el estudio de microorganismos benéficos para la agricultura sustentable. Su formación académica incluye una licenciatura en Ingeniería Química y una maestría en Ingeniería, ambas obtenidas en el TecNM-Campus Instituto Tecnológico de Veracruz. Actualmente, se encuentra cursando el doctorado en Ciencias Agropecuarias en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana, donde profundiza en sus investigaciones.

Su labor como investigadora se centra en la aplicación de consorcios microbianos en sistemas agrícolas sostenibles, con especial énfasis en el sistema milpa intercalada en árboles frutales (MIAF). Sus estudios buscan optimizar el uso de estos microorganismos para mejorar la productividad agrícola y reducir el impacto ambiental. Ejerce como profesora titular en el Programa Educativo de Agricultura Sustentable y Protegida de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, donde comparte su conocimiento y experiencia con las nuevas generaciones de profesionales. Además, ha desempeñado un papel fundamental en la formación de estudiantes de licenciatura, asesorando numerosos proyectos de estadía profesional que han culminado en la obtención de su título. Recientemente ha publicado el artículo:

Romero-Figueiras, T., Andrés-Meza, P., Murguía-González, J., Espinosa-Calderón, A., Maldonado-Saavedra, O., y Leyva-Ovalle, O. R. (2024). The role of microbial fertilizers in diversified cropping systems. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(3), e4007.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6926-5002>

Pablo Andrés-Meza

Doctor en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, posteriormente realizó la maestría en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales, ambos por el Colegio de Postgraduados y estudió la Ingeniería en Agronomía con especialidad en Fitotecnia en el Instituto Tecnológico de Comitancillo. Es profesor de tiempo completo titular C en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Orizaba-Córdoba, Universidad Veracruzana, con 10 años de antigüedad laboral,

donde desempeña su labor docente en los programas educativos licenciatura en Biología, ingeniería en Agronomía, Maestría en Horticultura Tropical, Maestría en Manejo y Explotación de los Agrosistemas de la Caña de Azúcar y en el Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Es coordinador de la Academia de Matemáticas y de la biblioteca de la misma Facultad. Cuenta con el reconocimiento al Perfil Deseable PRODEP por la SEP (2022-2025), es integrante del Núcleo Académico Básico de la Maestría en Horticultura Tropical y en el doctorado en Ciencias Agropecuarias, ambos pertenecientes al Sistema Nacional de Posgrados (SNP). Asimismo, es integrante del Cuerpo Académico CA-UV32-Horticultura Tropical en la categoría de *consolidado*. Es miembro del SNII, nivel I, en el área Biotecnología y Ciencias Agropecuarias. Ha realizado trabajos con énfasis en la conservación y el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles, con un enfoque integral que abarca desde la producción agrícola hasta la conservación.

Sus investigaciones han generado valiosa información sobre la diversidad genética de cultivos y animales, lo que contribuye a su conservación y aprovechamiento. Recientemente ha publicado:

Andrés-Meza, P., Sierra-Macías, M., Rodríguez-Escobar, J. G., Leyva-Ovalle, J., Itehua-Panzo, E., Jiménez-Méndez, A. Y., Del Rosario-Arellano, J. L., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Hernández-Salinas, G., y Serna-Lagunes, R. (2025). Identification of Native Maize (*Zea mays*L.) within the Area of Influence of Pico de Orizaba National Park. *Agro Productividad*, II.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0575-0084>

ID' Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55177200900>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=FseV-d3oAAAAJ&hl=en>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Andres-Meza>

Alejandro Espinosa-Calderón

Maestro y doctor en Genética por el Colegio de Postgraduado. Es Ingeniero Agrónomo especialista en Fitomejoramiento por la Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez" de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Desde hace 46 años es investigador de maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP/INIA). Desde 1982 se desempeña como profesor de asignatura A en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC)

(UNAM). Pertenece al SNII DESDE 1986; como investigador nivel 3, de 2003 a 2024, y desde 2025 como investigador emérito.

Ha dirigido 130 tesis. Generó 76 variedades mejoradas de maíz. El híbrido H 135 (1986) fue sembrado en 85 % del Área de riego del Mezquital de 1987 a 1995; H 50 y H 48 (1998) se sembraron en 1 175 000 hectáreas y 650 000 hectáreas de Valles Altos (2 200 a 2 600 msnm). Miembro de AMC. Premio Biotecnología y Ciencias Agropecuarias del Estado de México en 2009. Presea EdoMex en Ciencias José Antonio Alzate en 2018. Fundador de la Campaña Nacional Sin Maíz No Hay País (CNSMNH), 2007, del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral (CIIDRI-UACH) y la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad y la Naturaleza de América Latina (UCCSNAL), 2008. Presidente de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS) en 2019. Miembro de la Demanda Colectiva, 2012. Secretario Ejecutivo de la CIBIOGEM de 2019 a 2025. Recientemente ha publicado:

Alonso-Sánchez, H., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., López-López, C.,

Arteaga-Escamilla, I., y Martínez-Martínez, J. G. (2025). Riego por gravedad tecnificado en híbridos de maíz para Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(3). <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i3.3686>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7128-4712>

ID^s Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36713175100>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=nJmO-zOAAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Alejandro-Espinosa-Calderon-10985096>

Otto Leyva-Ovalle

Doctor en Ciencias por el Instituto de Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados, México (2002), donde realiza estudios en Genética. Maestro en Ciencias en Producción de Semillas por el Colegio de Postgraduados (1995) e Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia por la Universidad Autónoma Chapingo (1993). Cuenta con un posdoctorado en el Corn Breeding and Genetics Program dentro del Soil and Crop Sciences Department por la Texas A&M University (2005-2006). En 1993 fue contratado por el Grupo Agroindustrial de Occidente, S. de R. L. para fungir como Supervisor Operativo. En 2002 ingresa a laborar en el Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, con la categoría de

profesor investigador asociado; a partir de 2003 coordinó el área de Horticultura Ornamental Tropical del Campus Córdoba. Desempeñó el puesto de Research Associate en el Corn Breeding and Genetics Program dentro del Soil and Crop Sciences Department en la Texas A&M University (2005-2006). En 2006 es nombrado subdirector de Vinculación del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados. Ha impartido cursos de licenciatura, maestría y doctorado en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana (2007 a la fecha). Fue director de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias en el periodo 2012-2021. Actualmente es docente de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana. Su investigación está orientada a la Horticultura Ornamental Tropical y la Olericultura. Cuenta con registros de software ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI). Es (co)autor de artículos en revistas internacionales y nacionales. Su más reciente publicación es:

García-Bravo, L. A., Calderón-Robles, R. C., Zárate-Martínez, J. P., Leyva-Ovalle, O. R., Ríos-Utrera, Á., Montaña-Bermúdez, M., Martínez-Velázquez, G., Villagómez-Cortés, J. A., y Vega-Murillo, V. E. (2025). Estimación de parámetros genéticos de características reproductivas en ganado bovino multirracial en condiciones tropicales. *Revista BioCiencias*, 12. <https://doi.org/10.15741/rev-bio.12.e1604>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6150-9367>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=I2xwP7wAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Otto-Leyva-2>

Ricardo Serna-Lagunes

Doctor en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad en Ganadería y maestro en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales por el Colegio de Postgraduados, México, y licenciado en Ciencias Biológicas por la Universidad Veracruzana. Perteneció al SNI, nivel I, en el área VII Ciencias de Agricultura, Agropecuarias, Forestales y de Ecosistemas. Cuenta con una producción de 66 artículos científicos en revistas indexadas en SCOPUS, CLARIVATE, JRC o Conahcyt de competencia nacional e internacional, como autor principal, autor de correspondencia y co-autor. Ha escrito cinco capítulos de libros arbitrados y publicados en editoriales de reconocido prestigio como Springer Nature y Elsevier. Ha participado como evaluador

de proyectos de Ciencia Básica y de Frontera-Conahcyt, de Consejos Estatales de Ciencia y Tecnología de Tabasco, Puebla y Tamaulipas, y proyectos del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIT) de la UNAM. También participó como editor de la revista *Neotropical Biology and Conservation* y editor asociado de la *Revista de Zoología* de la UNAM; participó como árbitro de revistas internacionales y nacionales como *Plos ONE*, *Molecular Biology Report*, *Revista de Biología Tropical*, y nacionales como la *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *Agrociencia*. Ha sido profesor titular de Experiencias Educativas o asignaturas a nivel licenciatura en Biología, en la maestría en Horticultura Tropical y en el doctorado en Ciencias Agropecuarias. En el 2021 obtuvo el Reconocimiento a la Conservación de la Naturaleza otorgado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Forma parte del Padrón Veracruzano de Investigadores. Es coordinador del Cuerpo Académico Biotecnología, Recursos Genéticos y Productividad; cuenta con Perfil Prodep-SEP; miembro del NAB de dos posgrados del SNP-Sechyt. Su más reciente publicación es:

Aguilar Ventura, D. A., Mata Montes de Oca, G., Serna Lagunes, R., y Aguilar Rivera, N. (2025). Productividad de *Pleurotus ostreatus* en dos sustratos preparados por vapor e inmersión en agua caliente: consumo de agua y gas. *Acta Biológica Colombiana*, 30(2). <https://doi.org/10.15446/abc.v30n2.112399>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1265-9614>
ID' Scopus (si cuenta con él): <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36683133500>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=jAvif98AAAA-J&hl=es>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Serna-Lagunes>

Julio Díaz-José

Maestro en Desarrollo Rural y doctor en Problemas Económico Agroindustriales. Se desempeña como profesor en la Universidad Veracruzana y es miembro del SNI. Es autor principal del Grupo de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas para elaborar el Sexto Informe de Evaluación (AR6). Actualmente es autor líder para la evaluación de los nexos entre biodiversidad, cambio climático, alimentos, agua y salud, en la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES).

Su trabajo se enfoca en el estudio de las interrelaciones entre agricultura, sociedad y medioambiente en las escalas local, regional y global. Colabora con distintos grupos de investigación nacionales e internacionales y ha sido responsable de distintos proyectos de investigación sobre alimentos y sustentabilidad. Es evaluador de proyectos y trabajos de investigación en distintos organismos, y ha publicado diversos artículos científicos, capítulos de libro y artículos de divulgación. Se desempeña como docente, dirige y asesora tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Su más reciente publicación es:

Briones Ruiz, G., Guevara-Hernández, F., Leyva-Ovalle, O. R., Aguilar-Rivera, N., Limón-Rivera, R., y Díaz-José, J. (2025). Intensificación de la producción de follajes de corte: efecto en la cubierta forestal y los ingresos. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 35(65), e251523. <https://doi.org/10.24836/es.v35i65.1523>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0182-8814>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=AC-jO-h8AAAAJ&hl=en>

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Julio-Diaz-Jose?ev=hdr_xprf

Miguel Cebada-Merino

Maestro tecnólogo en Horticultura Tropical y licenciado en Química Agrícola por la Universidad Veracruzana. Se desempeña como profesor de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Córdoba-Orizaba, de la Universidad Veracruzana. En la actualidad mantiene el reconocimiento de perfil PRODEP por la SEP. Es integrante del cuerpo académico en consolidación UV-CA-169 Ciencia y Tecnología de la Caña de Azúcar y Sistemas Agropecuarios, donde realiza investigaciones en relación con sistemas de producción de importancia regional en temas de autosuficiencia alimentaria, sostenibilidad y revalorización productiva. Sus últimas publicaciones son:

Cebada-Merino, M., Crescencio-Andrade, Y., Serna-Lagunes, R., Del Rosario-Arellano, J. L., Andrés-Meza, P., Presa-Parra, E., Hernández-Salinas, G., Díaz-José, J., y Leyva-Ovalle, O. R. (2024). La modelación de las características edafológicas de un predio destinado al cultivo de caña de azúcar en Veracruz, México. *Revista de Geografía Agrícola*, (72), 1-16.

Del Rosario-Arellano, J. L., Serna-Lagunes, R., Andrés-Meza, P., Leyva-Ovalle, O. R., Cebada-Merino, M., y Capetillo-Burela, Á. (2024). El estado actual y condiciones ecogeográficas de *Manihot esculenta* Crantz en la región las Montañas Veracruz. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 11(3).

Morales, G. de la L., Serna-Lagunes, R., y Cebada-Merino, M. (2024). La acuaponía y su implementación como un escenario de aprendizaje. *Bioagrociencias*, 16(1), 48-56.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6483-304X>

ID' Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36713175100>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=0OoId-M0AAAAJ&hl=es>

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Cebada?ev=hdr_xprf

Mauro Sierra-Macías

Doctor en Ciencias en Producción por la Universidad de Colima, maestro en Ciencias por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Ingeniero Agrónomo con Especialidad en Fitomejoramiento por la Facultad de Agrobiología Presidente Juárez de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Es investigador en Fitomejoramiento en el programa de maíz para el Trópico Mexicano, adscrito al Campo Cotaxtla, CIRGOC, INIFAP de 1977 a la fecha. Participó en la formación de los híbridos y variedades de maíz: VS-525, H-511, V-530, V-531, V-532, V-534, VS-536, V-540, H-512, H-513, H-519C, V-537C, H-518, H-520, H-564C, de los cuales se ha producido semilla certificada y han sido sembrados por los agricultores maiceros en el área tropical del sureste de México. Es autor y coautor en 109 publicaciones en revistas indexadas y/o arbitradas, así como del padrón del Conacyt, dos libros y 33 capítulos de libro, 15 folletos técnicos con la descripción varietal de los híbridos y variedades de maíz y tecnología de producción para el cultivo de maíz; 108 artículos in extenso en memorias de congresos nacionales e internacionales. Ha participado en conferencias para productores, técnicos y estudiantes sobre mejoramiento genético y tecnología de producción de granos y semillas. Es miembro del SNI, nivel II. Recibió el premio Julián Rodríguez Adame al Ingeniero Agrónomo del año, en 1994; el premio ADIAT a la Innovación tecnológica, en el 2001; en 2001 el Reconocimiento de alta productividad por parte de la Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal A. C.; en 2014

el Reconocimiento a la Conservación de la Naturaleza por los trabajos de colecta, caracterización, identificación racial y conservación de maíces Nativos durante 2009 y 2010; el Reconocimiento al Mérito Científico en 2017, durante la celebración de los 100 años de la UMNSH. Su más reciente publicación es:

Alcázar Andrade, J. de J., y Sierra Macías, M. (1984). Evaluación de variedades tropicales de maíz de planta baja en el estado de Veracruz. *Fitotecnia*, 5(6), 24-35. <https://doi.org/10.35196/rfm.1984.6.24>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6476-2192>

Google Académico: https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=W10W-PUAAA&view_op=list_works&sortby=pubdate

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Mauro-Sierra-Macias-7557224>

Margarita Tadeo-Robledo

Doctora en Ciencias en Recursos genéticos y productividad. Obtuvo la maestría en Genética por el Colegio de Postgraduados y la licenciatura en la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo como Ingeniero Agrónomo especialista en Fitomejoramiento. En la actualidad es profesora de carrera titular C definitiva de tiempo completo en la FES-C de la UNAM. Sus líneas de investigación son producción y tecnología agrícola, mejoramiento genético, tecnología de semillas, con esterilidad y restauración de fertilidad masculina, QPM, calidad normal, maíces blancos, amarillos, azules, palomeros. Es responsable de proyectos de PAPIT en mejoramiento genético de maíz. Pertenece al SNII, nivel II. En 2018, obtuvo el reconocimiento Sor Juana Inés de la Cruz. Producto de la investigación en mejoramiento genético ha obtenido variedades de maíz para diferentes regiones agroclimáticas de México. Recientemente logró el registro de Tlaoli Puma y Atziri Puma, primeros híbridos en México con restauración de fertilidad masculina. La UNAM reconoce la importancia de producir el maíz que requiere México como fuente de alimento y elemento de identidad nacional, y el compromiso por avanzar hacia la suficiencia alimentaria. Es tutora de diferentes programas de maestría y doctorado en instituciones de prestigio en México. Ha fungido como presidente de la Sociedad Mexicana de Fitogenética. Ha publicado artículos científicos en revistas nacionales e internacionales; recientemente ha publicado:

Alonso-Sánchez, H., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., López-López, C., Arteaga-Escamilla, I., y Martínez-Martínez, J. G. (2025). *Riego por gravedad tecnificado en híbridos de maíz para Valles Altos*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(3), e3686. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i3.3686>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-8721>
ID' Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56364334800>
Research Gate: <https://www.researchgate.net/profile/Margarita-Tadeo-Robledo>

Gustavo Almaguer Vargas

Doctor y maestro en Ciencias por el Colegio de Posgraduados, y licenciado en Fitotecnia por la Universidad Autónoma Chapingo. Fue el primer director general de Investigación y Posgrado y creó la Feria Nacional de la Cultura Rural. Fue presidente de la Sociedad Mexicana de Horticultura, así como primer presidente de la Confederación Mexicana de Sociedades Científicas Agronómicas. Es miembro del SNI, nivel II. Reunió a las diferentes instancias de Hidalgo relacionadas con la citricultura, para trabajar en el proyecto “Salvemos nuestras Naranjas”, el cual también desarrolló en Veracruz y San Luis Potosí como respuesta a la reducción de casi 50 % de la productividad de los cítricos dulces, causada por el cambio climático y el HuangLongBing. De los más de 80 artículos científicos publicados destacan:

De La Cruz, E., Almaguer Vargas, G., Cibrián Tovar, J., Soto Hernández, R. M., y Arredondo Bernal, H. C. (2024). Guava leaf extracts as repellents against *Diaphorina citri* Kuwayama. *Applied Ecology And Environmental Research*, 23(1), 879-888. : http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2301_879888

Almaguer-Vargas, G., Botello-Castillo, M. D., Jacobo-Blas, L., Mauriciopérez, J. M., González-Hernández, V. A., Cruz-Huerta, N., Ramírez, R., Mondragón-Pedrero, G., y De La Cruz, D. E. (2018). The contribution of weeds in reducing *Diaphorina Citri* (Asian Citrus Psyllid) populations on mandarin trees, in Tuxpan, Veracruz, Mexico. *Applied Ecology And Environmental Research*, 16(6), 7361-7375. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1606_73617375
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9462-2913>.

Roberto Carlos Mariano

Doctor en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Licenciado en Administración de Negocios Agropecuarios

por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, Argentina. Es docente de grado y de posgrado e investigador asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en Argentina. Es director y codirector de proyectos de investigación y extensión, y director y codirector de tesis y trabajos finales de grado y posgrado. Se encuentra coordinando la Licenciatura en Administración de Negocios Agropecuarios (FA-UNLPam) y el Nodo Territorial Agroindustrial de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Estratégica de La Pampa. Sus líneas de investigación son: prospectiva estratégica en sistemas agroalimentarios y vigilancia e inteligencia estratégica y competitiva. Participa de la Red Abierta de Prospectiva e Innovación para América Latina y el Caribe y de la Red Iberoamericana de Prospectiva (RIBER). Es autor y coautor de publicaciones científicas, técnicas, libros y capítulos de libros. Recientemente ha publicado como primer autor el libro:

Mariano, R., Papagno, S., y Vitale, J. (2022). *Prospectiva en el sector agrícola y alimentario. Guía técnico-metodológica*. Editorial de la Universidad Nacional de La Pampa.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4889-152X>

Rocío Luján González

Doctoranda en Ciencias de la Administración en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de La Plata. Magíster en Gestión Empresarial por la Facultad de Ciencias Económicas y Jurídicas de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Licenciada en Administración de Negocios Agropecuarios por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, Argentina. Becaria doctoral del CONICET. Ayudante de primera exclusiva en las cátedras Estrategias en Sistemas Agroalimentarios y Costos para la Administración. Coordinador de la Diplomatura Universitaria Internacional en Prospectiva Agrícola y Alimentaria. Ha participado en proyectos de investigación (2) y vinculación (2). Su línea de investigación es biocircularidad en el entramado cárnico bovino de La Pampa. Entre sus publicaciones se encuentran:

Ramírez Herrera, D., González, R., y Santovito, S. (2024). Análisis regional de factores intervinientes en el sector agrícola chileno. *Revista Negocios Agroalimentarios*, 9(2), 4-10.

Luján González, R., Agustín Pérez, S., Ferro Moreno, S., y Mariano, R. C. (2023). Estrategias de bioeconomía circular: revisión de aplicación sobre complejo agroindustrial cárnico bovino. *Tiempo de Gestión*, 18(34), 31-54.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2056-2743>

Santiago Agustín Pérez

Doctor en Ciencias de la Administración por la Universidad Nacional del Sur y licenciado en Administración de Negocios Agropecuarios por la Universidad Nacional de La Pampa. A lo largo de su carrera ha complementado su formación con más de 30 cursos de posgrado en áreas como finanzas, microeconomía y gestión, en diversas universidades argentinas. Su experiencia profesional abarca la administración agropecuaria, la consultoría estratégica y el análisis de costos, así como la docencia universitaria; se desempeña como jefe de trabajos prácticos y ayudante en diversas cátedras de la Facultad de Administración de la UNLPam. Es becario del CONICET. A lo largo de su carrera ha participado en múltiples proyectos de investigación, extensión, ha dictado de cursos y participado en eventos científicos a nivel nacional e internacional. Es autor de varios libros y artículos científicos en el ámbito agroalimentario y económico general, entre los que se encuentran:

Pérez, S. (2025). Limitaciones tecnológicas de la cría bovina en La Pampa, Argentina: diagnóstico y desafíos. *Revista Perspectivas de las Ciencias Económicas y Jurídicas*, 15(1), 165-186. <http://doi.org/10.19137/perspectivas-2025-v15n1a07>

Paturlanne, J. L., Luján González, R., Pérez, S. A., y Moreno, S. F. (2025). Costeo y toma de decisiones en el agro: una propuesta aplicada. *Costos y Gestión*. <https://doi.org/10.56563/costosygestion.109.e1>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7679-8819>

Google Académico: <https://scholar.google.com.ar/citations?user=S2Ys9woAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Santiago-Perez-23?ev=hdr_xprf&_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6ImhvbWUiLCJwYWdlIjoiaG9tZSIsInBvc2l0aW9uIjoiZ2Z2xvYmFsSGVhZGVyIn19

Santiago Ferro Moreno

Licenciado en Administración de Negocios Agropecuarios por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. Doctor en Ciencias Económicas, con orientación en Administración por la Facultad de Ciencias Económicas de la

Universidad Nacional de Córdoba. Investigador independiente del CONICET. Profesor titular responsable de cursos de grado (Estrategias en Sistemas Agroalimentarios y Costos para la Administración) y posgrado (relacionados a análisis y planificación estratégica, prospectiva estratégica, costos y toma de decisiones, resolución de problemas complejos, planificación estratégica territorial, entre otros). Investigador categoría III. Coordinador de la maestría en Administración Agroalimentaria (UNCPBA-UNLPam). Director de la revista *Negocios Agroalimentarios* (FA-UNLPam). Miembro de la Red Abierta de Prospectiva e Innovación para América Latina y el Caribe. Miembro de la Red de Universidades e Instituciones de Investigación en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas. Socio de la Sociedad Argentina de Planificación Territorial. Entre sus publicaciones se encuentran:

Moreno, S., Rosales, M., Rosales, J., Agrela, F., y Díaz-López, J. L. (2024). Feasibility of Using New Sustainable Mineral Additions for the Manufacture of Eco-Cements. *Materials*, 17(4), 777. <https://doi.org/10.3390/ma17040777>

Rosales, M., Rosales, J., Moreno, S., Agrela, F., y Díaz-López, J. L. (2025). Sustainable concrete manufactured with mixed recycled aggregate and biomass bottom ash, replacing aggregate and cement to a high percentage. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04785. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04785>

ORCID: 0000-0001-5131-3662

Google Académico: <https://scholar.google.com.ar/citations?user=9ZzI-0I8AAAAJ&hl=es&authuser=1>

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Santiago-Ferro-Moreno?ev=hdr_xprf

Gisela Valdés Padilla

Cuenta con un posdoctorado centrado en epistemologías ecofeministas. Es doctora en Ciencias Sociales por el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social Occidente (México). Obtuvo la maestría en Antropología Social en el Colegio de San Luis (México) y la licenciatura en Psicología en la Universidad del Valle de Atemajac (México). Como creadora e investigadora transdisciplinaria independiente, sus líneas de investigación y acción se enfocan en el cuidado del cuerpo-territorio, las epistemologías reflexivas y los ecofeminismos. Colaboró en un proyecto auspiciado por Conahcyt, que se centra en futuros alternativos alimentarios y la soberanía alimentaria, investigando propuestas y solu-

ciones sostenibles frente a los desafíos globales actuales en estas áreas. Recientemente publicó:

Valdés Padilla, G. (2024). El derecho a un futuro nutritivo: responsabilidad, consciencia y soberanía al consumir nuestros alimentos parte del libro. En M. de L. Flores López y M. K. Solís López (Coords), *Visiones de los futuros: escenarios y prospectiva en la reconfiguración de los sistemas alimentarios en México. Contribuciones para las políticas públicas* (pp. 237-268). Conahcyt/CIATEJ. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15058695>

Solís López, M. K., Flores López, M. de L., y Valdés Padilla, G.(2023). Los mercados tradicionales en México: Escenario futuro de resistencia al desarrollo territorial. *Cuyonomics. Investigaciones En Economía Regional*, 7(12). <https://doi.org/10.48162/rev.42.057>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7567-9463>

Academia: <https://guadalajara.academia.edu/giselavaldes>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=xfRwh4AAAA-J&hl=es&authuser=2>

Mayra Karina Solís López

Doctora y maestra en Ciencias en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional por el Colegio de Postgraduados (México). Obtuvo la licenciatura en Ciencias Ambientales en la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Se ha desempeñado como colaboradora en proyectos de ciencia básica y/o de frontera. Su área de investigación es el comercio tradicional y su impacto en el abasto alimentario y las estrategias de reproducción social de las familias campesinas. En la actualidad es posdoctorante en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Recientemente publicó:

Solís López, M. K., Flores López, M. de L., y Martín Neri-Suárez, M. (2024). Mercados y tianguis como oasis alimentarios frente al comercio corporativo y sus repercusiones en la salud. *Regions & Cohesion*, 14(1), 61-82. <https://doi.org/10.3167/reco.2024.140104>

Flores López, M. de L., y Solís López, M. K. (Coords). (2024). *Visiones de los futuros: escenarios y prospectiva en la reconfiguración de los sistemas alimentarios en México. Contribuciones para las políticas públicas*. Conahcyt/CIATEJ. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15058695>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4152-7859>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?user=gCg5zvMAAAA-J&hl=es>

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Mayra-Solis-7?ev=hdr_xprf

María de Lourdes Flores López

Doctora en Antropología por el Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS-Ciudad de México), estudió la maestría en Ciencias de la Salud con especialización en Nutrición en la Escuela de Salud Pública de México (INSP) y la licenciatura en nutrición en la UAM-X. Actualmente se desempeña como investigadora dentro del programa de Investigadores por México de Secihti, asignada al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Pertenece al SNII, nivel I.

Sus líneas de investigación son desarrollo y bienestar social, aspectos sociales y culturales de los sistemas alimentarios, estudios de futuro y prospectiva, soberanía y políticas alimentarias. Sus publicaciones recientes son:

Flores López, M. de L., y Solís López, M. K. (Coords). (2024). *Visiones de los futuros: escenarios y prospectiva en la reconfiguración de los sistemas alimentarios en México. Contribuciones para las políticas públicas*. Conahcyt/CIATEJ. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15058695>

Flores López, M. de L., Brambila Gutiérrez, F. U., y Peña Mendoza, K. A. (2024). Las políticas públicas para reconfigurar el sistema alimentario en México basadas en derecho, justicia y soberanía alimentaria. En M. de L. Flores López y M. K. Solís López (Coords), *Visiones de los futuros: escenarios y prospectiva en la reconfiguración de los sistemas alimentarios en México. Contribuciones para las políticas públicas* (pp. 301-341). Conahcyt/CIATEJ. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15058884>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2997-2001>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=P1U-pr84AAAAJ>

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Maria-De-Lourdes-Lopez?ev=hdr_xprf

Luis Alberto Olvera Vargas

Licenciado en Geografía por la UNAM, maestro y doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Cuenta con 24 años de experien-

cia en el área de sistemas de información geográfica y teledetección, especialista en modelado biológico, análisis espacial, agricultura de precisión, cartografía participativa y morfopedología. Cuenta con 15 años de experiencia en docencia, ha impartido 30 cursos con valor curricular a nivel nacional e internacional y participado en más de 50 congresos nacionales e internacionales. Es autor de 20 capítulos de libro, 15 artículos indexados, cinco libros y 30 artículos de divulgación. Asesor de tesis de licenciatura y maestría, árbitro de revistas nacionales e internacionales. Es miembro del SNII, nivel 1. Entre sus publicaciones se encuentran:

González-Díaz, R. L., Anda, J. de, Shear, H., Padilla-Tovar, L. E., Lugo-Melchor, O.

Y., y Olvera-Vargas, L. A. (2025). Assessment of Heavy Metals in Surface Waters of the Santiago-Guadalajara River Basin, Mexico. *Hydrology* 12(2), 37; <https://doi.org/10.3390/hydrology12020037>

Anda, J. de, Shear, H., Lugo-Melchor, O. Y., Padilla-Tovar, L. E., B., S. D., y Olvera-Vargas, L. A. (2024). Use of the Pesticide Toxicity Index to Determine Potential Ecological Risk in the Santiago-Guadalajara River Basin, Mexico. *Water*, 16(20), 3008. <https://doi.org/10.3390/w16203008>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8771-6575>

ID' Scopus (si cuenta con él): 55787807900

Google Académico: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=WS8yL9kAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Olvera?ev=hdr_xprf

Noé Aguilar-Rivera

Doctor en Ciencias Ambientales, maestro en Ciencias de Productos Forestales e Ingeniero Químico. Miembro del SNII, nivel II, área VI: Ciencias Sociales. Miembro de la Asociación de técnicos azucareros de México. Su línea transversal de investigación es: gestión ambiental, desarrollo sostenible y economía circular en agroindustrias (caña de azúcar, café, vainilla, cítricos, agave, tubérculos, hongos comestibles, valorización de residuos, ornamentales, sistemas socioecológicos: piloncillo, ecoturismo, flora nativa, artesanías, competitividad de regiones). Actualmente es docente de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana, región Orizaba-Córdoba.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7833-6749>

ID' Scopus: 36602072600

Google Académico: https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%-2C5&q=noe+aguilar-rivera&oq=

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/N-Aguilar-Rivera?ev=hdr_xprf

Eduardo Pérez Sosa

Es licenciado y maestro en Geografía por la UNAM. Obtuvo la medalla Alfonso Caso por sus estudios en el Posgrado de Geografía de la UNAM. Es candidato a doctor del Programa de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente de la Universidad de Zaragoza y miembro del grupo Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales del Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón. Realiza investigaciones en temas de climatología agrícola, climatología aplicada y análisis de la variabilidad y extremos climáticos mediante la ciencia de datos geográficos. Ha trabajado en diversos proyectos de investigación, así como en la elaboración de materiales educativos de geografía. Cuenta con estancias de investigación en México, España y Portugal. Actualmente es investigador iniciado N3.1 en la Universidad de Zaragoza. Entre sus publicaciones se cuentan:

Pérez-Sosa, E., y Granados-Ramírez, G. R. (2020). Posibles efectos del cambio climático en la región productora de cacao en Tabasco, México. *Tlalli. Revista de Investigación en Geografía*, 3, 39-67.

Serrano-Andrés, A., Suñén-Lavilla, I., Pérez-Sosa, E, y Hernández-Navarro, M. L. (2024). La innovación agroalimentaria como estrategia LEADER frente a la despoblación el caso de Aragón (2014-2020). En F. Ruiz Rodríguez y R. González Relaño (Coords.), *Territorio, inteligencia y sostenibilidad: claves para los espacios regionales* (pp. 189-197). Asociación Española de Geografía.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6488-8537>

Guadalupe Rebeca Granados-Ramírez

Es doctora, maestra y licenciada en Geografía por la Universidad Autónoma de México. Se desempeña como investigadora titular B del Departamento de Geografía Física del Instituto de Geografía de la UNAM en el área de climatología. Es profesora de diversas asignaturas en la licenciatura y posgrado de las carreras de Geografía, Sostenibilidad y Biología. En la actualidad es miembro del SNI, nivel I. Realiza investigaciones en torno a la Agroclimatología y regionalización aplicada a actividades agrícolas y desarrollo rural, utilizando como herramientas el sistemas

de información geográfica (SIG) e imágenes de satélite. Entre sus publicaciones se encuentran:

Granados Ramírez, R., Reyna Trujillo, T. (Coords.) (2024). *Centro-Occidente de México: variación climática e impactos en la producción agrícola*. UNAM.

Sánchez Cohen, I., Díaz Padilla, G., Cavazos Pérez, G. R., Gómez Reyes, E. (2011). *Elementos para entender el cambio climático y sus impactos*. Miguel Ángel Porrúa.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3244-2431>

Miguel Ángel Saz Sánchez

Doctor en Geografía por la Universidad de Zaragoza. Realizó su tesis doctoral en el Instituto Pirenaico de Ecología (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) y desde 2001 es profesor en el Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza. Su investigación se centra en el análisis climático desde una perspectiva espacial y temporal. Ha estudiado el clima actual, su variabilidad y los cambios en los extremos climáticos, así como el clima de los últimos siglos a través de la dendrocronología y la climatología histórica. Entre sus contribuciones destacan las reconstrucciones pluriseculares de sequías y tendencias de temperatura en España, así como el estudio de las interacciones entre el clima y los ecosistemas forestales. Ha trabajado además en clima urbano y en la creación de bases de datos climáticos en formato *grid*. Ha sido investigador principal en varios proyectos de relevancia, entre los que destacan: TTF-Teaching the Future (2022-2023), financiado por la Unión Europea con un presupuesto de 297.549 €; MINECO CGL2015-69985-R: Variabilidad, tendencias y extremos climáticos en la vertiente mediterránea de la península Ibérica desde el siglo XVI (2016-2019); y PROCTEFA CLIMPY: Caracterización climática y provisión de información para la adaptación en los Pirineos (2015-2019). Además, ha participado como miembro del equipo de investigación en dos proyectos financiados por la Unión Europea, cinco proyectos del Plan Nacional de I+D y ha liderado 13 proyectos de transferencia del conocimiento. En el ámbito académico, ha coordinado el Máster en Gestión Territorial y Ambiental y ha sido investigador principal del Grupo de Investigación "Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales" del Gobierno de Aragón. Desde 2018 forma parte del equipo directivo del Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón, del que en la actualidad es subdirector y representa a la Universidad de Zaragoza en la Comisión del Agua de Aragón, en

el Patronato del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y en el Patronato de los Glaciares Pirenaicos. Cuenta con tres tramos de investigación reconocidos (2001-2007, 2008-2013, 2014-2019). Algunas de sus publicaciones son:

Arias-Muñoz, P., Saz, M. Á., y Escolano, S. (2024). Tendencias de cambio de usos y coberturas de suelo en la cuenca hidrográfica media-alta del río Mira en Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, (81), 155-179.

Cuadrat, J. M., Serrano-Notivoli, R., Barrao, S., Saz, M. Á., y Tejedor, E. (2023). Variabilidad temporal de la isla de calor urbana de la ciudad de Zaragoza (España). *Cuadernos de Investigación Geográfica/Geographical Research Letters*, 48(1), 97-110.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8979-0253>

Producción de frutales en cambio climático. Experiencias en América Latina, de Pablo Alberto Torres Lima, Juan Guillermo Cruz Castillo, Luis Ángel Barrera Guzmán, María Elena Galindo Tovar, Humberto Mata Alejandro, Héctor Tecumshé Mojica Zárate y Joaquín Murguía González (coordinadores), publicado por Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., se terminó de imprimir en diciembre de 2025 en Litográfica Ingramex, S. A. de C. V., Centeno 162-1, Granjas Esmeralda, 09810, Ciudad de México. El tiraje fue de 200 ejemplares impresos y en versión digital para acceso abierto en los formatos PDF, EPUB y HTML.

El libro colectivo que el lector tiene en sus manos se constituye de la contribución de 40 investigadores de diferentes áreas de conocimiento, provenientes de 13 instituciones, cuyo origen son cinco países: Argentina, Colombia, Cuba, España y México. Se incluyen avances en el estudio de los recursos naturales para la fruticultura y los procesos de cambio tecnológicos-agronómicos frente a los impactos de la variabilidad y cambio climáticos. El conjunto de contribuciones representa un enriquecedor intercambio de experiencias analíticas y estudios de caso orientados a comprender los marcos de estudios latinoamericanos de las ciencias y tecnologías agronómicas orientados a la fruticultura. El principal objetivo de la obra consiste en analizar, comprender y comparar, de manera interdisciplinaria, el desarrollo y consolidación del pensamiento agronómico, geográfico y ambiental respecto a los sistemas de producción de frutales y su relación con la variabilidad climática. Se intenta que el libro atienda necesidades de generación interdisciplinaria de conocimiento científico-tecnológico para evaluar la complejidad y características únicas de cada sistema de producción frutícola y de las tendencias de su desarrollo, ante los retos específicos de la variabilidad climática. Es decir, repensar las estrategias y acciones de manejo tecnológico-agronómico de diversos sistemas de producción frutícola, orientadas a la contención, adaptación y mitigación de este tipo de variabilidad.



Pablo Alberto Torres Lima es Ingeniero Agrónomo por la UAM-X y Doctor en Antropología por la University of Florida. Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana. Miembro del SNII, nivel II. Fulbright Scholar 2014-2016. Realiza investigaciones en sistemas agrícolas y desarrollo sustentable.



Juan Guillermo Cruz Castillo es Doctor en Filosofía en Ciencias Hortícolas por la Massey University. Profesor investigador de la Universidad Autónoma Chapingo. Miembro del SNII, nivel III. Realiza investigaciones en zonas tropicales de altura con kiwi, feijoa, chinene y níspero.



Luis Ángel Barrera Guzmán es Doctor en Ciencias en Horticultura por la Universidad Autónoma Chapingo. Miembro del SNII y de la Red Nacional de Chayote por parte de SNICS. Sus líneas de investigación son el manejo, la conservación y el mejoramiento genético vegetal.



María Elena Galindo Tovar es Doctora en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por la Universidad Autónoma del Estado de México. Miembro del SNII, nivel I. Docente de tiempo completo en la Universidad Veracruzana.



Humberto Mata Alejandro es Agrónomo y Doctor en Ciencias Agropecuarias por la Universidad Veracruzana. Sus líneas de investigación son el estudio de los recursos fitogenéticos y la citricultura. Es miembro del SNII, nivel I y coordinador nacional de la Red de la Uva Silvestre en México.



Héctor Tecumshé Mojica Zárate es Doctor en Ciencias por la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba. Profesor investigador de tiempo Completo en la Universidad Autónoma Chapingo. Miembro del SNII, nivel candidato.



Joaquín Murguía González es Doctor en Agroecosistemas Tropicales. Profesor decano e investigador de la Universidad Veracruzana. Su actividad de investigación y enseñanza es en la productividad, fitosanidad e inocuidad en la horticultura. Miembro del SNII, nivel I.



Dimensions

RENIECYT
Registro Nacional de Instituciones
y Empresas Científicas y Tecnológicas
2000922



Google
Scholar



DOI.ORG/10.52501/CC.296



COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA PUBLICACIONES
ARBITRADAS

HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS
www.comunicacion-cientifica.com



ISBN: 978-968-9738-22-0
9 789689 738220